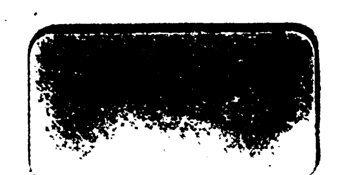
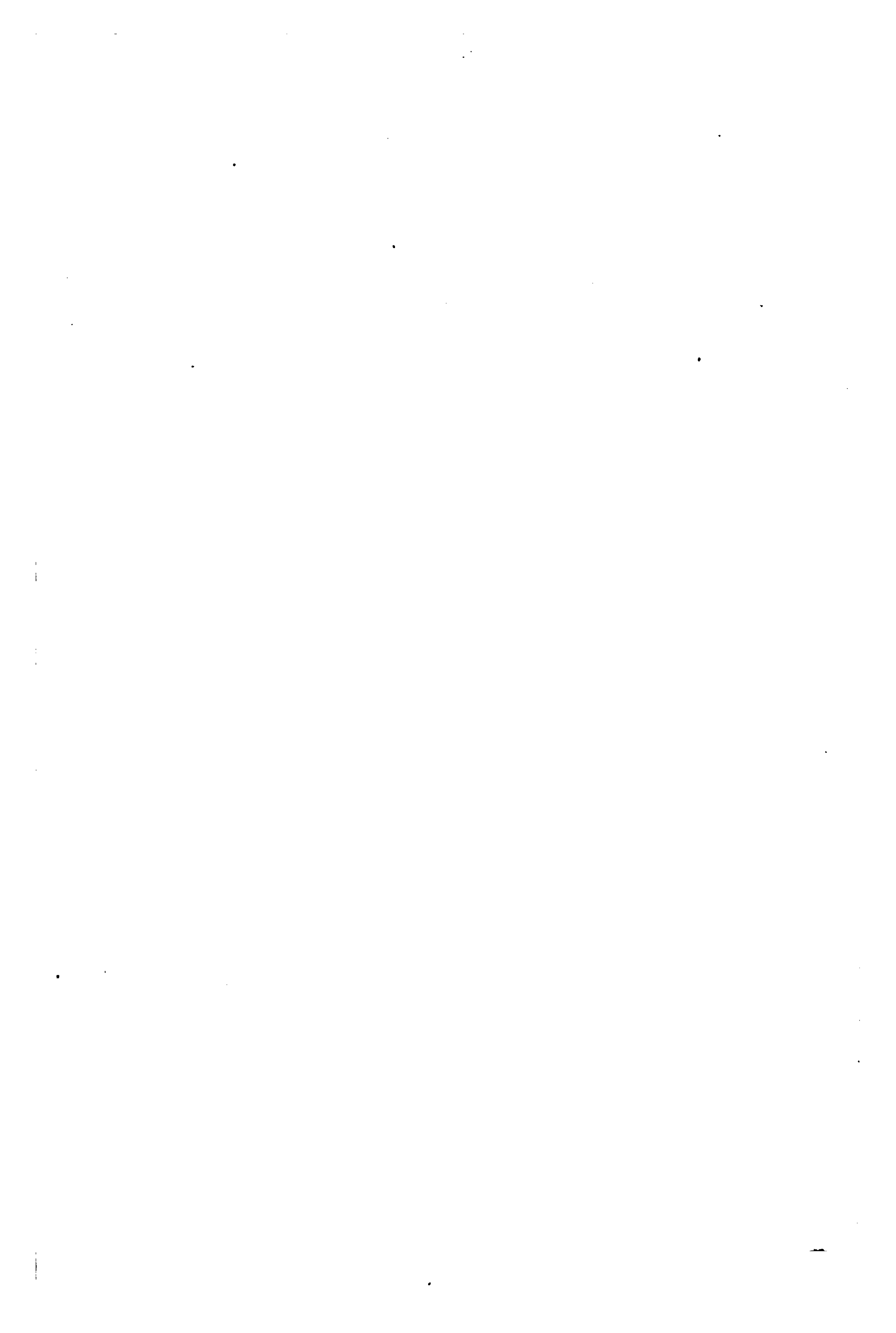



Shelf No
3760a.50
B. 59.
FOUNDED 1852
SICUT PATRIBUS SIT DEUS NOBIS
BOSTONIA
CONDITA A.D.
1630.
CIVITATIS REGIMINE DONATA A.D. 1822.
BOSTON PUBLIC LIBRARY









ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

D[R]. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT
UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

NEUNUNDFÜNFZIGSTER BAND.

MIT 7 TAFELN UND 66 HOLZSCHNITTEN.

BONN, 1895.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.

Inhalt.

Seite

Erstes und zweites Heft.

Ausgegeben am 16. November.

Drittes und viertes Heft.

Ausgegeben am 30. November.

Fünftes und sechstes Heft.

Ausgegeben am 11. Dezember.

Neuntes und zehntes Heft.

Ausgegeben am 11. Januar 1895.

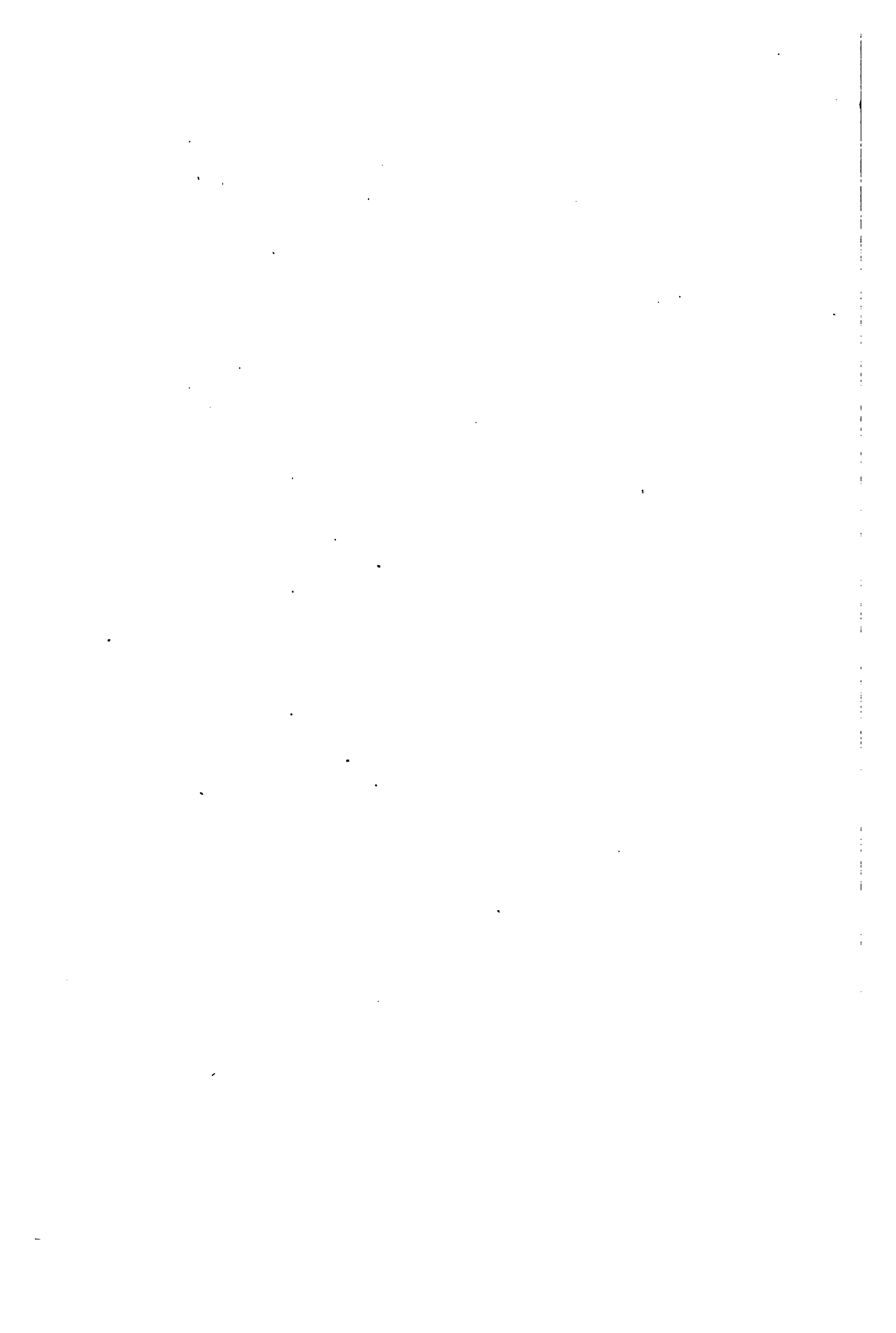
Seite

Elftes und zwölftes Heft.

Ausgegeben am 5. Februar.

Durch ein Versehen wurde die nachstehende im 9./10. Hefte des 58. Bandes enthaltene Arbeit:

sowohl auf der betr. Umschlagseite sowie im Register des Bandes nicht mit aufgeführt.



(Experimentelle Untersuchungen aus dem physiologischen Institute in Wien.)

Ueber den Ursprung der Hemmungsnerven des Herzens.

Von

Dr. **Michael Grossmann,**
Docent an der Wiener Universität.

Mit 4 Holzschnitten.

Kaum war der Weber'sche Satz, dass durch periphere Vagusreizung die Schlagfolge des Herzens bis zum diastolischen Stillstande verlangsamt wird, aufgestellt, so war man auch schon bemüht, die Frage: ob diese Hemmungswirkung vom Vagus oder Accessorius herrühre, auf experimentellem Wege zu prüfen und zu beantworten.

Allerdings waren die analogen Fragen bezüglich der anderen, vom vereinigten Vagus-Accessoriusstamme gemeinsam innervirten Organe, noch lange nicht erledigt. Den fortgesetzten Bemühungen der hervorragendsten Physiologen und Anatomen nahezu zweier Jahrhunderte war es nicht gelungen, für jeden dieser beiden vereinigten Nerven, die ihm eigenthümliche physiologische Function festzustellen und insbesondere nicht die Frage in einwurfsfreier Weise zu beantworten: welchem dieser beiden Nerven bei den von ihnen gemeinsam innervirten Organen die Rolle des motorischen und welchem jene des sensiblen Nerven zukommt.

Die Weber'sche Lehre von der Herzhemmungswirkung des Vago-Accessoriusstammes fügte zu den alten, noch ungelösten Problemen ein neues hinzu, und es galt nun zu entscheiden, von welchem der beiden Nerven der erwähnte Einfluss auf das Herz ausgeübt wird.

Die experimentellen Methoden, mit welchen man an die Lösung dieser neuen Aufgabe herantrat, waren im Grossen und Ganzen jenen ähnlich, mit welchen man die Entscheidung der

Frage: ob der Larynx seine motorischen Impulse vom Vagus oder Accessorius empfängt, angestrebt hatte.

Es wurde entweder der äussere Ast des eilften Hirnnervenpaares gefasst und mit einem eigenartigen Handgriffe aus dem Foramen jugulare in der Weise herausgerissen, dass möglichst zahlreiche Wurzelfasern mitgingen; oder aber, es wurde der Accesorius im Wirbelcanal selbst aufgesucht und entfernt. Waller[1]), Schiff[2]), Heidenhain[3]), Franck[4]), Gianuzzi[5]).

Das Ergebniss dieser Versuche variirte je nach der Summe von Wurzelfasern, die nach der ersten Methode mit dem peripheren Accessoriusaste mitgerissen, oder je nach der Höhe des verlängerten Markes, bis zu welcher dieselben nach der zweiten Methode durchgetrennt wurden.

Die positiven Versuchsergebnisse, welche die motorischen Impulse für den Kehlkopf ebenso, wie die Hemmungswirkung auf das Herz mit aller Bestimmtheit vom N. accessorius ableiten, konnten die Zweifel nicht beseitigen, dass bei dem experimentellen Eingriffe, sowohl nach der einen, wie nach der anderen Methode, möglicherweise nicht nur das Wurzelgebiet des N. accessorius, sondern auch Wurzelfasern des N. vagus durchtrennt wurden. Nach wie vor blieb es also unentschieden, auf welche Gattung der durchrissenen Fasern die Ausfallserscheinungen zu beziehen seien.

Bei den gleichen Versuchen mit negativen Ergebnissen hingegen war der Einwurf, dass bei dem Eingriffe nicht alle Wurzelfasern des N. accessorius durchgerissen wurden und dass die sonst auftretenden Ausfallserscheinungen nur aus diesem Grunde ausgeblieben sind, nicht, oder wenigstens nicht ohne Weiteres, zurückzuweisen.

Bei meinen experimentellen Untersuchungen über: „Die Wurzelfasern der Kehlkopfnerven“[6]) habe ich die

---

1) Waller, Gazette méd. de Paris. 1856. S. 420.

2) Schiff, Lehrbuch d. Physiologie I. Lahr 1858—59. S. 420.

3) Heidenhain, Studien des physiol. Institutes zu Breslau. 3. S. 109 u. folg. 1865.

4) Franck, Traveaux du labrat. de Marey. 2. S. 264. 1876.

5) Gianuzzi, Ricerche eseguite nel gabinetto di fisiologia die Siena 1871—1872. Siena-Roma 1872. S. 3—33.

6) Grossmann, Die Wurzelfasern der Kehlkopfnerven. Sitzber. der Kais. Akad. d. Wissensch. in Wien. Math.-nat. Cl. B. XCVII. Abth. III. Nov. 1889

Klärung der Frage von der motorischen Innervation des Kehlkopfs durch electrische Reizung jener zarten Nervenbündelchen angestrebt, welche seitlich von der Med. oblongata entspringen, gegen das Foramen jugulare hinziehen und als die Wurzelfasern des Glossopharyngeus-, Vagus-, Accessorius-Ursprunges bekannt sind.

Von der Annahme ausgehend, dass diese Versuche für die Lehre von der Innervation des Kehlkopfes im Allgemeinen und insbesondere für die Frage: ob der Larynx vom Vagus oder vom Accessorius motorisch innervirt werde, nicht ganz unwesentliche Beiträge ergeben haben, schien es mir angezeigt auch die Frage: ob die Herzhemmung vom Vagus oder vom Accessorius herrühre, nach derselben Versuchsmethode zu studiren.

Bezüglich der Versuchsanordnung und namentlich der Methode, nach welcher die Med. oblongata und die vorhin erwähnten Nervenwurzelfasern blosgelegt und electrisch gereizt wurden, verweise ich auf meine früher citirte Arbeit.

Hier möchte ich nur ergänzend hinzufügen, dass wir an unseren Thieren, die vorerst stets tief narcotisirt wurden, zunächst die Tracheotomie ausgeführt haben, ohne jedoch die künstliche Athmung sofort aufzunehmen. Es wurde dann das Thier umgedreht, die Operation zwischen Hinterhaupt und Atlas bis zur Bloslegung der Membrana obturatoria durchgeführt. Die Haut- und Muskelränder wurden nun mit einer Sperrpincette über das durchschimmernde, wenn auch noch nicht blosgelegte Halsmark, zum Schutze gegen eine allzugrosse Abkühlung zusammengezogen, eine Vorsichtsmassregel, die sich übrigens nicht als unerlässlich erwiesen hat.

Nun wurde das Thier wieder in die Rückenlage gebracht, der Thorax und das Pericardium eröffnet, die künstliche Respiration aufgenommen.

Es wurde in die Herzspitze u. z. in den dem linken Ventrikel angehörenden, etwas dickwandigeren Antheil eine winzige Pincette eingehackt, welche durch einen Faden mit einer Marey'schen Aufnahmstrommel in Verbindung stand; die dazugehörige Schreibtrommel verzeichnete die Pulsschläge auf einem Kymographion.

Die Herzcontractionen konnten nun, u. z. jenachdem wir den, die Marey'sche Kapsel mit der Herzspitze verbindenden Faden

mehr oder weniger anspannten, in grösseren oder kleineren Excursionen auf der rotirten Trommel mit aller Deutlichkeit verzeichnet werden.

Der erwähnte Faden wurde jedoch vorläufig noch nicht gespannt, um nicht das Herz vorzeitig unnöthig zu ermüden. Die geöffnete Thoraxhöhle deckten wir mit Brun'scher Watte, um eine zu starke Abkühlung so weit als möglich hintanzuhalten.

Nun wurde das Thier in die Seitenlage gebracht, die Membrana obturatoria und die Dura mater eröffnet und so zu den von der Med. oblongata seitlich abgehenden Vagus-Accessorius-Wurzelfasern der Einblick und Zugang geschaffen.

Waren wir nun in der Lage, die von mir in der oben citirten Arbeit beschriebenen und durch Fig. 1 illustrirten Nervenbündelchen, sei es bei directer Beleuchtung — bei günstig einfallendem

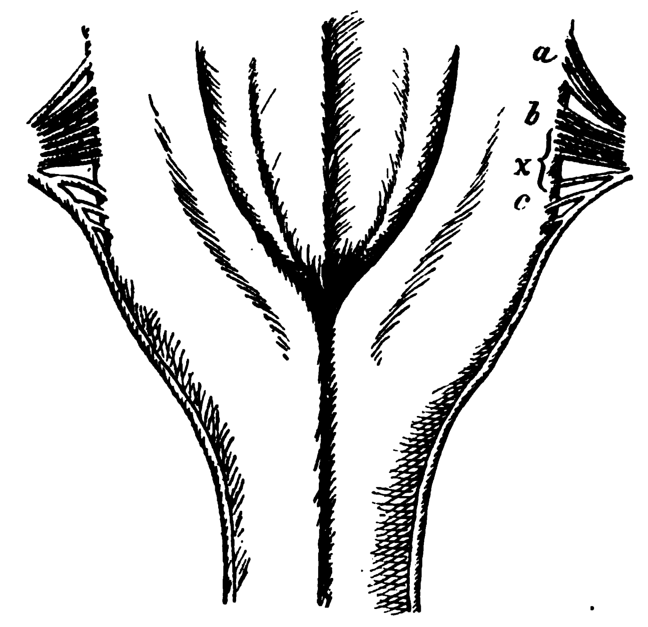


Fig. 1. *a* oberes, *b* mittleres, *c* unteres Bündel, *x* Herzhemmungsfasern.

Tageslichte — oder aber bei künstlicher Beleuchtung — wenn trübes Wetter war — klar und deutlich zu übersehen: dann wurde die Marey'sche Trommel in die nöthige Entfernung von der Herzspitze gebracht, und der sie mit der Herzspritze verbindende Faden in entsprechende Spannung gesetzt. Auf diese Weise konnte die graphische Registrirung der Herzcontractionen beginnen.

Sobald wir die Ueberzeugung gewonnen haben, dass die Herzpulsationen auf der in Rotation versetzten Trommel in gleichmässiger Weise verzeichnet werden, wurde mit der electrischen Reizung der blosgelegten Nervenwurzeln begonnen.

Wir haben mit ganz schwachen Inductionsströmen unipolar gereizt, ganz nach derselben Anordnung und Methode, wie ich sie bei meinen schon citirten Untersuchungen über die Innervation des Kehlkopfes angewendet und a. a. O. auch beschrieben habe.

Das Ergebniss dieser Reizungsversuche war nun Folgendes:

Eine Verlangsamung der Pulsation und die bekannten Herzhemmungserscheinungen, wie sie nach peripherer Vagusreizung auftreten, und wie sie die Figg. 2, 3 und 4, welche wir unseren zahlreichen hieher gehörenden Curven entnommen haben,



Fig. 2.



Fig. 3.



Fig. 4.

illustriren, haben wir nur dann constant bekommen, wenn wir die untersten Fasern des mittleren, oder die obersten des untersten Bündels gereizt haben. Diese Bündel sind in Fig. 1 mit x bezeichnet.

Hie und da kam es auch vor, dass durch Reizung auch der höher gelegenen und zuweilen selbst im oberen Bündel verlaufenden Fasern, dieselben Erscheinungen hervorgerufen wurden.

Nachdem nun diese Thatsache festgestellt war, haben wir den N. accessorius mittels eines Irishäckchens, innerhalb des Wirbelcanals central herausgerissen; — ein Eingriff, der ja ungemein leicht durchführbar ist — und dann das extrahirte Ende dieses Nerven erst unipolar, dann bipolar, mit schwachen, dann stärkeren und schliesslich sehr starken Strömen gereizt.

Gleichviel nun, ob wir diesen Versuch einseitig oder bilateral, mit gleichzeitiger Reizung beider Nn. accessorii durchgeführt haben, so sahen wir immer nur prompte und der Stärke der angewendeten Ströme entsprechend energische Contractionen in den Nacken- und Halsmuskeln, niemals aber auch nur den geringsten Effect auf das Herz.

Die bisher geschilderten Versuche haben wir einige Male auch in der Weise wiederholt, dass wir anstatt den Thorax zu eröffnen und das Herz direct schreiben zu lassen, die A. carotis mit einem Quecksilbermanometer in Verbindung gebracht haben und aus dem Verhalten des Pulses und Blutdruckes das etwaige Vorhandensein einer Hemmungswirkung erschlossen.

Die Ergebnisse waren ganz dieselben, wie bei der früheren Versuchsanordnung; es traten auch hier die characteristischen Vaguspulse auf, wenn wir die vorhin genau bezeichneten Nervenbündel gereizt haben.

So viele Vortheile aber auch diese Methode gegenüber jener bietet, wo das blosgelegte Herz selbst die Pulsationen zu schreiben hat, so haben wir doch unsere zahlreichsten Versuche bei geöffnetem Thorax durchgeführt.

Zunächst erschien es uns von nicht zu unterschätzendem Werthe, dass wir bei dieser Methode in der Lage waren, die Erscheinungen nicht nur aus der kymographischen Curve, sondern auch aus der directen Beobachtung des Herzens und seinem Verhalten während der Reizung erschliessen zu können.

Das allein jedoch, war bei unserer Wahl noch nicht von entscheidendem Einflusse.

Die Bloslegung der Med. oblongata zwischen Occiput und Atlas, die Präparation der seitlich abgehenden Nervenwurzelfasern, welche bei unseren Versuchen zu prüfen waren, ist mit um so grösseren technischen Schwierigkeiten verbunden, je älter und je grösser das Versuchsthier ist. Die profusen Blutungen in dem Rückenmarkskanal, welche einen beträchtlichen Procentsatz dieser

Versuche ohnehin und unter allen Umständen zu vereiteln pflegen, sind bei alten und grossen Thieren noch weit schwieriger zu verhüten. Was aber die Sache noch complicirter macht, ist: dass der Zwischenraum zwischen Atlas und Hinterhaupt bei älteren Thieren immer enger und die Zugänglichkeit zu den uns hier interessirenden Wurzelfasern somit erheblich schwieriger wird.

Wir waren daher bei unseren Versuchen auf die halbausgewachsenen Thiere (Kaninchen) angewiesen, bei denen aber die Blutdruckmessung wenn auch nicht unmöglich, so doch zweifellos mit vielen Schwierigkeiten und Complicationen verbunden ist.

Das waren die Gründe, weshalb wir es vorgezogen haben, das Herz direct schreiben zu lassen, und wenn auch dabei eine viel eingreifendere, die Versuchsdauer sicherlich ungünstig beeinflussende Operation nöthig war, so hatte doch die Methode andererseits den grossen Vortheil, dass sie die Ergebnisse in verlässlicher Weise überblicken liess.

Die Divergenz der Versuchsresultate früherer Forscher, welche den peripheren Ast des N. accessorius im Foramen jugulare ausgerissen hatten, lässt sich aus den Ergebnissen unserer Reizungsversuche ohne Weiteres erklären. Es kam bei diesen Experimenten offenbar immer darauf an, wie viele und insbesondere welche der Wurzelfasern mit dem peripheren Accessoriusaste mitgerissen wurden.

Der Gedanke, durch electrische Reizung dieser Wurzelfasern die Frage zu entscheiden: ob die Hemmungswirkung auf das Herz vom Vagus oder Accesorius ausgehe, ist schon Heidenhain aufgetaucht. Da ihm aber diese Methode wegen der Zartheit und namentlich wegen der Kürze dieser Nervenbündel fast undurchführbar erschien, schlug er einen anderen Weg ein.

Bekanntlich hat Thiry[1]) den experimentalen Nachweis geliefert, dass jede Sauerstoffverarmung und Kohlensäureanhäufung im Blute eine Verlangsamung der Athmung und der Schlagfolge des Herzens zur Folge habe, was auf eine Vagusreizung zurückzuführen sei. Die erwähnte Retardation in Folge von Dypnoe schwindet sofort, wenn mitten im Versuche die beiden Vagi durchschnitten werden, oder bleibt ganz aus, wenn die Vagi von vornherein durchtrennt worden sind.

---

1) Thiry, Zeitschrift für ration. Medicin. 1864. 3 Serie. XXI. 7—27.

Diesen Versuch Thiry's verwendete nun Heidenhain um zu eruiren: von welchen Wurzelfasern des N. accessorius die Herzhemmungswirkung ausgelöst werde.

Bei Durchschneidungen der Med. spinalis bis zur Höhe der Spitze des Calamus scriptorius, ist der Thiry'sche Versuch noch vollkommen gelungen. Erst wenn ziemlich weit oberhalb dieser Stelle der Schnitt geführt wurde, sind die geschilderten Retardationserscheinungen ausgeblieben.

Aus diesen Versuchen konnte nun unter der Voraussetzung, dass der Querschnitt auch die beiden Nn. accessorii getroffen habe, ohne Weiteres der Schluss gezogen werden, dass die Herzhemmungsfasern nicht aus den, unterhalb des ersten Schnittes, in der Med. spinalis gelegenen Wurzelfasern des N. accessorius, sondern von jenen entspringe, welche weit oberhalb dieser Stelle, aus der Med. oblongata abgehen.

Nach unseren Versuchsergebnissen erscheint es ganz begreiflich, dass bei diesen Thiry-Heidenhain'schen Versuchen die Hemmungswirkung, d. i. die geschilderten Retardationserscheinungen in der Pulsation, erst dann auftrat, wenn die, durch die Med. oblongata gesetzten Querschnitte das mittlere Bündel der Vago-Accesorius-Wurzelfasern getroffen haben.

Ob es aber gerechtfertigt ist auch dieses mittlere Bündel so ohne Weiteres als noch zum N. accessorius gehörende Wurzelfasern anzusprechen, wollen wir vorläufig dahingestellt sein lassen.

Nur Eines möchte ich hier betonen.

Von der Mehrzahl der Physiologen wird angenommen, dass die Herzhemmung und die motorische Innervation des Kehlkopfes von N. accessorius herrühre.

Unsere früheren und die soeben geschilderten Versuche haben ergeben: dass die Herzhemmungsnerven aus den unteren Fasern des mittleren und aus den obersten des unteren Bündels entspringen; dass der N. laryngeus inferior aus dem mittleren und der N. laryngeus superior aus dem oberen Bündel ihren Ursprung nehmen.

Wenn nun alle drei Nervenbündel und somit die sämmtlichen zwischen Glossopharyngeus und Accessoriustamm sich befindlichen Nervenfasern als zum N. accessorius gehörende Wurzelfasern zu betrachten sind — denn nur so wäre die erwähnte, fast allgemein tradirte Lehre gerechtfertigt — dann existirten überhaupt keine Vaguswurzelfasern mehr.

(Aus dem physiologischen Institut der Wiener Universität.)

Die Wurzelfasern der motorischen Nerven des Oesophagus.

Von

Dr. Alois Kreidl,
Assistenten am physiologischen Institut.

Die Frage, in welcher Weise die Wurzelfasern des Glossopharyngeo-, Vago-, Accessorius-Ursprunges an den complicirten Functionen der aus dem Foramen jugulare getrennt austretenden drei Nervenstämmen betheiligt sind, ist bis nun noch in Bezug auf so manche Punkte eine unerledigte. Das Bestreben der Physiologen zur Zeit Joh. Müller's, das von Charles Bell und Magendie für die Rückenmarksnerven aufgestellte Gesetz auch für die Hirnnerven zu bewahrheiten, hat diese veranlasst, an den genannten Wurzelfasern zu experimentiren und diesem Umstande verdanken wir die ersten Angaben darüber, welchen Antheil die Wurzelfasern des Glossopharyngeus, Vagus und Accessorius an der motorischen Innervation der zahlreichen von den drei Nerven versorgten Muskeln nehmen.

Die Resultate dieser Experimente von Volkmann, Hein, Valentin, Longet, Bischoff, Joh. Müller und A. m., welche mit primitiven Hülfsmitteln und zum grössten Theil an frisch getödteten Thieren ausgeführt wurden, fanden Aufnahme in die meisten Lehrbücher der Anatomie und Physiologie und bilden noch bis heute die Grundlage für die — allerdings nicht immer richtige Anschauung — vieler Autoren.

Das Bestreben, diese Frage mit verfeinerten Untersuchungsmethoden und mit Ausschluss gewisser Versuchsfehler, deren Consequenzen man damals nicht kannte, endgiltig zu entscheiden, hat nun die interessanten Ergebnisse zu Tage gefördert, wie sie in den Arbeiten von Grabower[1]), Grossmann[2]) und Réthi[3]) vor-

---

1) Grabower, Das Wurzelgebiet der motorischen Kehlkopfnerven (Centralblatt f. Physiologie, 1890, No. 20).

2) Grossmann M., Ueber die Athembewegungen des Kehlkopfes

liegen. Durch diese wurde die alte Lehre in vielen Punkten modificirt und richtig gestellt, wobei natürlich auch wieder die Frage mit behandelt wurde, in wie weit die drei Nerven in ihren Wurzeln als solche getrennt aufzufassen sind, mit anderen Worten, welche Wurzelfasern dem Accessorius, welche dem Vagus und Glossopharyngeus angehören. Es hat sich als zweckmässig herausgestellt, nach dem Vorgange von Grossmann die Wurzelfasern in ein oberes (*a*), mittleres (*b*) und unteres (*c*) Bündel zu trennen, wobei das obere ziemlich genau dem Glossopharyngeus, das mittlere dem Vagus und das untere dem Accessorius der Anatomen entspricht.

Da sich die Fasern der drei Nerven im Foramen jugulare vielfach verflechten, so ist es dem Belieben anheimgegeben, ob man die Namen der drei Nerven für den peripheren Verlauf beibehalten will — dann ist die übliche Benennung der Wurzelbündel fallen zu lassen; oder ob man die Namen für den Ursprung gelten lässt — dann ist der periphere Verlauf nicht richtig. Dann verlaufet z. B. der N.-glossopharyngeus auch am Halse (im „Vagus") wie Grossmann nachgewiesen hat.

Dass man wohl am besten thut, die drei Nerven physiologisch als einen Nerven aufzufassen, geht sowohl aus den Befunden hervor, wie sie durch die citirten Arbeiten von Grabower, Grossmann und Réthi erbracht worden sind, als auch aus der Thatsache, die in der vorliegenden Arbeit mitgetheilt wird.

Ohne ausführlich die Befunde der genannten Autoren zu referiren, will ich nur daran erinnern, dass nach Grossmann z. B. die zum M. cricothyreoid. im N. laryng. sup. verlaufenden Fasern, sowie die im Vagusstamme zu den Lungen ziehenden Hering-Breuer'schen Fasern aus dem oberen Bündel (Glossopharyngeus) stammen; dass nach Réthi der N. laryngeus med., respective der R. pharyng. N. vagi einzelne Fasern aus dem Glossopharyngeus erhält.

Gleichzeitig haben Grabower und Grossmann nachgewiesen, dass die zum Kehlkopf führenden Nerven (N. laryng.

II. Th. Die Wurzelfasern der Kehlkopfnerven (Sitzgsb. d. K. Akad. d. Wiss., Bd. XCVIII. Abth. III. 1889).

3) Réthi L., Die Nervenwurzeln der Rachen und Gaumennerven (Sitzgsb. d. K. Akad. d. Wiss., Bd. CI. Abth. III. 1892).

inf.) aus dem mittleren Wurzelbündel (Vagus), und nicht wie man geglaubt hat, aus dem Accessorius stammen.

Schon um diesen alten Streit, bezüglich Accessorius und Vagus zu erledigen, soll man also entweder genau sagen, was Accessorius, was Vagus ist, oder man verzichtet darauf und fasst die Wurzeln der drei Nerven unter einen gemeinsamen Namen mit der Bezeichnung zusammen: oberes, mittleres und unteres Bündel. Uebrigens schreibt schon Joh. Müller[1]) in seinem Lehrbuch der Physiologie: „Man sieht deutlich aus diesen Varietäten, wie auch aus dem Mangel des N. accessorius bei den Fischen, dass der N. vagus, glossopharyngeus und accessorius nur ein gemeinsames System bilden, dessen Zertheilung in den Thierklassen sehr variiren kann."

In vorliegender Mittheilung sei bezüglich der Nomenclatur auf die Arbeit von Grossmann und die darin enthaltene Abbildung verwiesen.

Es lag der Gedanke nahe, im Anschlusse an die im physiologischen Institute in Wien ausgeführten Arbeiten von Grossmann[2]) und Réthi auch die Wurzelfasern der Nerven aufzusuchen, welche den Oesophagus motorisch innerviren und welche, wie bekannt, im Vagus zur Speiseröhre verlaufen. Speciell für das Kaninchen gibt Krause[3]) an, dass die motorischen Nerven des Oesophagus in der Bahn der Nn. vagi und accessorii verlaufen; für den oberen Theil ausschliesslich im R. recurrens. N. vagi.

Blos von Volkmann[4]) existirt eine Angabe, dass er nach Reizung der Wurzelfasern des Vagus in der Schädelhöhle (am frisch getödteten Thiere) Bewegungen des Oesophagus gesehen habe.

Zur Entscheidung, von welchen Wurzelfäden die motorischen Nerven des Oesophagus entspringen, konnte ein doppelter Weg eingeschlagen werden; entweder Reizung der feinen Wurzelfäserchen in ähnlicher Weise wie Grossmann und Réthi es gethan, oder

1) J. Müller, Handbuch der Physiol. d. Menschen. 4. Aufl. 1844. F. I. Bd. S. 677.

2) In den letzten Tagen wurden von Grossmann auch Versuche abgeschlossen, in welchen die Wurzelfasern der Herzhemmenden Nerven bestimmt wurden.

3) Krause, Die Anatomie des Kaninchens. Engelmann. Leipzig 1868.

4) Volkmann, A. W., Ueber die motorischen Wirkungen der Kopf- und Halsnerven. Müller's Archiv f. Anat. 1840.

Durchreissung der betreffenden Fasern und Beobachtung einer eingetretenen Lähmung. Ich wählte den letzteren Weg, um so jeden Einwand, dass es sich um Stromschleifen handeln könnte, gleich vorweg zu nehmen.

Die Versuche — und zwar blos am Kaninchen — wurden in folgender Weise ausgeführt: Das Versuchsthier wurde 24 Stunden lang hungern gelassen, nachdem es vorher eine geringe Quantität grünes Futter zu fressen bekommen hatte. Das Thier wurde dann ohne Narcose aufgebunden und nach Abtragung der Membrana obturatoria[1]) mit einem feinen Häkchen einzelne Wurzelfasern und zwar beiderseitig durchrissen; selbstverständlich geschah die Durchreissung nicht im Dunkeln, sondern es wurden die Nervenfäden dann durchrissen, wenn sie genau gesehen und gefasst werden konnten. Auch bei diesen Versuchen musste schon aus diesem Grunde jede Blutung streng vermieden werden, noch mehr aber deshalb, weil das Thier bei eingetretener Blutung, selbst wenn die Durchreissung gelungen war, nachher in Krämpfe verfiel und überhaupt zum Versuche nicht mehr verwendet werden konnte.

War die Durchreissung, die auch möglichst rasch geschehen musste, ausgeführt, so wurde die Wunde vernäht und das Thier losgebunden; nachdem es sich erholt hatte, wurde ihm nun ein anders gefärbtes Futter, gewöhnlich gelbe Rüben, vorgelegt, welches das Thier nach kurzer Zeit zu fressen begann; wo dies nicht der Fall war, genügte es, demselben ein Stück von dem Futter zwischen die Kiefer zu bringen, worauf es dann spontan weiter frass.

Ich will hier bemerken, dass ich mich bei der Versuchsanordnung im Wesentlichen an ein Experiment hielt, wie es seit Jahren in der Vorlesung für Physiologie zu Wien ausgeführt wird, um den Einfluss des N. vagus auf die Muskulatur des Oesophagus zu demonstriren. Einem Kaninchen, das eine geringe Menge Grünfutter zu fressen bekommen hat, werden nach 24-stündigem Hungern vor der Vorlesung beide N. vagi am Halse durchschnitten; hierauf erhält das Thier vor dem Auditorium ein anders gefärbtes Futter (gelbe Rübe) zu fressen; sobald das Thier Erstickungskrämpfe bekommt, was dann eintritt, wenn der gelähmte Oesophagus mit Futter vollgefüllt ist und die Speisen in den Kehlkopf übertreten, wird das Thier durch Chloroform oder Aether

---

1) Bezüglich d. Präparation vergleiche Grossmann und Réthi l. c.

getödtet und an demselben der mit dem Futter vollgefüllte Oesophagus demonstrirt. Bei dieser Art des Versuches, wo man zwei verschieden gefärbte Futtergattungen wählt, ist das Bild insoferne ein eclatantes, als der mit gelbem Futter prall gefüllte Oesophagus sich sehr schön von dem mit Grünfutter gefüllten Magen abhebt.

Hatte man nun in der Schädelhöhle jene Wurzelfasern durchrissen, welche in ihrem späteren Verlaufe im Vagus zum Oesophagus treten, so mussten jene Erscheinungen auftreten, wie sie bei peripherer Durchschneidung der Vagi am Halse zu beobachten sind und von denen soeben die Rede war.

Nach jedem Versuche wurde selbstverständlich die Sektion ausgeführt und die durchrissenen Wurzelfasern nochmals genau bestimmt.

Die Durchreissung der einzelnen Bündel des Glossopharyngeo-, Vago-, Accessorius-Ursprungs ergab nun folgendes Resultat: Wurde das untere Bündel (*c*), welches den Stamm des Accessorius mit in sich begreift, beiderseits durchrissen oder wurde blos der Accessorius auf beiden Seiten herausgerissen und obendrein ein Stück jederseits excidirt, so zeigte sich keinerlei Veränderung im Oesophagus. Das Thier frass unmittelbar nach der Operation und bei der Section fand sich das ganze Futter im Magen, der Oesophagus war leer.

Wurde das mittlere Bündel (*b*) durchrissen, so zeigte das Thier das gleiche Bild, wie nach peripherer Durchschneidung der N. laryng. recurrentes, nämlich deutliche Stenosengeräusche, der Rythmus der Athmung war nicht verändert — es waren das Anhaltspunkte für die richtig ausgeführte Durchtrennung des mittleren (*b*) Bündels und gleichzeitig eine Bestätigung der Angaben Grossmanns am überlebenden Thiere.

So operirte Thiere fressen das ihnen vorgesetzte Futter begierig und zeigen ebenfalls keine Lähmung der Oesophagusmuskulatur. Bei der Section des Thieres — die Thiere wurden unmittelbar nachdem sie gefressen hatten, durch Aether getödtet — war der Oesophagus ganz leer.

Wurden einem Kaninchen beiderseits sowohl das untere (*c*) als auch das mittlere (*b*) Bündel gleichzeitig durchrissen, so zwar, dass von dem ganzen Wurzelgebiet nur die beiden oberen Bündel übrig blieben, so bot auch ein solches Thier in Bezug auf den Oesophagus nicht das Bild einer peripheren Vagotomie, mit anderen

Worten, weder im unteren noch im mittleren Bündel verlaufen die Fasern, welche später im Vagus und durch den N. laryng. recurrens zum Oesophagus ziehen.

Wurde das obere Bündel (*a*) auf beiden Seiten durchtrennt, so zeigten die Thiere folgendes Verhalten: Die Athmung war verlangsamt, die einzelnen Athemzüge seltener und tiefer; — ich hatte also auch hier schon in vivo wieder ein sicheres Erkennungsmittel, dass das obere, und wenn sonst keine Kehlkopferscheinungen zu beobachten waren, sicher nur das obere Bündel durchtrennt worden war. Ich halte es nicht für überflüssig, hinzuzufügen, dass das Verhalten der so operirten Thiere ein neuer Beweis ist für die Angaben Grossmann's, dass im oberen Bündel die Hering-Breuer'schen Fasern verlaufen. Nebenbei sei noch bemerkt, dass, während die Durchreissung des unteren und mittleren Bündels gewöhnlich ohne jede Reaction von Seite des Thieres ausgeführt werden konnte, die Durchtrennung des oberen Bündels immer mit deutlicher Schmerzensäusserung einherging. Die Thiere erholten sich nach der Durchtrennung der beiden oberen (*a*) Bündel viel später und frassen auch nicht so begierig. Während die Thiere nach den früher genannten Operationen ruhig fortfrassen, hörten diese Thiere bald auf, und zeigten gelegentlich Erstickungserscheinungen; bei der sofort vorgenommenen Section war der Oesophagus mit dem gelben Futter prall gefüllt; es kommt also die Durchtrennung des oberen (*a*) Wurzelbündels in dieser Beziehung gleich der peripheren Durchschneidung der Vagi am Halse oder mit anderen Worten, es verlaufen die für die Muskulatur des Oesophagus bestimmten motorischen Fasern im oberen Wurzelbündel. Ich habe mich bemüht, das dickere Stämmchen im oberen Wurzelbündel, den sogenannten N. glossopharyngeus, allein zu durchtrennen und habe auch gelegentlich dasselbe Bild erhalten, doch will ich damit nicht behaupten, dass die Wurzelfasern in diesem dickeren Stamm allein verlaufen, weil man nie durch die Section entscheiden kann, ob man nicht ein oder das andere feine Fäserchen mit durchrissen hat.

Auch Grossmann[1]) hat diesem Gedanken Ausdruck gegeben: „Das obere Bündel enthält den sogenannten N. glossopharyngeus, der da als dickeres Stämmchen erkennbar ist. Die physiologischen

1) Grossmann l. c.

Eigenschaften dieses dickeren Stämmchens gesondert zu prüfen, schien uns kaum ausführbar, da man nie sicher sein konnte, ob nicht schon ein oder zwei Fäserchen kleinern Kalibers an dasselbe angelegt waren."

Es dürften wahrscheinlich auch hier Varietäten vorkommen, in der Art, dass bald der eine bald der andere Fascicel des oberen Bündels diese Function hat.

Dieses Ergebniss nach Durchtrennung des oberen Bündels war in allen Fällen — es wurden im Ganzen zu all' den Versuchen gegen 30 Kaninchen verwendet — ein constantes. Periphere Durchschneidung des N. glossopharyngeus unmittelbar nach seinem Austritt aus der Schädelhöhle ist von keinem Einfluss auf die Muskulatur des Oesophagus; es treten demnach diese Fasern in den Vagusstamm über. Diese Thatsache, dass die im Vagus zum Oesophagus ziehenden Nervenfasern aus dem oberen (*a*) Bündel (Glossopharyngeus) stammen, ist ein neuerliches Moment dafür, die anatomische Eintheilung des Ursprungsgebietes dieser drei Nerven einer Revision zu unterziehen [1]).

Hält man das Ergebniss dieser Untersuchung zusammen mit den Resultaten, wie sie in den mehrfach citirten Arbeiten von Grossmann und Réthi vorliegen, so kommt man zu folgender Ueberlegung:

Durch das obere Wurzelbündel (Glossopharyngeus) verlaufen die Fasern zum M. cricothyreoideus (im N. laryngeus sup. und med.), die Fasern zur hinteren Rachenwand (im N. laryng. med. resp. R. pharyng. vagi), die Hering-Breuer'schen Fasern zur Lunge, endlich die Fasern zum Oesophagus (durch d. N. vagus beziehungsweise N. laryng. inf.) mit anderen Worten, es werden durch das obere Bündel jene Muskeln motorisch innervirt, welche an dem der Willkür entzogenen Theile des Schluckactes mitwirken und es ist gewiss von Bedeutung, dass die Contraction des M. cricothyreoideus, die Ausbuchtung der hinteren Rachenwand [2]), die Contractionen des

1) Mit Bezug auf diese Thatsachen ist es nicht uninteressant, hervorzuheben, dass der N. glossopharyngeus der Vögel sich mit einem Ast theils am oberen Kehlkopf, theils herabsteigend an der Speiseröhre verbreitet (vergl. Joh. Müller, Handbuch der Physiol. 1844. I. Bd. S. 677).

2) Vergl. Réthi, Der Schlingact und seine Beziehungen zum Kehlkopf (Sitzgsber. der Kais. Akad. d. Wiss. CI. Bd. Abth. III. 1891).

Oesophagus, ja auch die Regulirung der Athmung, welche beim Schlingacte gewiss eine Rolle spielt, durch ein Nervenbündel beherrscht werden, das an einer eng begrenzten Stelle das Centralnervensystem verlässt.

Es scheint, dass diese Funktionen, welche z. B. bei den Vögeln sicher wenigstens zum Theile durch den N. glossopharyngeus besorgt werden, auch beim Kaninchen in den Wurzelbündeln an Glossopharyngeusfasern gebunden sind. Erst später treten sie in den N. vagus über. In wie weit die am Kaninchen gefundenen Verhältnisse auf den Menschen zu übertragen sind, müssen weitere Erfahrungen lehren.

Ueber die Beziehungen der Taubstummheit zum sogenannten statischen Sinn.

Von

Dr. **Alfred Bruck**,
Assistenzarzt an Dr. B. Baginsky's Poliklinik für Ohren-, Nasen- und Halskrankheiten.

Die noch immer kontroverse Frage, ob das Ohrlabyrinth ausser der Hörfunktion noch sogenannte statische Funktionen in sich birgt, hat man — abgesehen von physiologischen Experimenten — neuerdings durch genauere Beobachtungen an Taubstummen zu erledigen versucht. Der Erste, welcher derartige Versuche angestellt hat, ist James[1]) gewesen. Derselbe ging von der Annahme aus, dass, wenn die Bogengänge im Sinne von Goltz als ein Gleichgewichtsorgan aufzufassen sind, bei zahlreichen Taubstummen kein Schwindel auf-

1) W. James, The sense of dizziness in deafmutes. Americ. Journ. of otology IV, p. 239.

treten könne, weil sich unter denselben eine grosse Anzahl solcher finden müsse, deren Labyrinth zerstört ist. Er untersuchte eine ganze Reihe von Taubstummen daraufhin, ob sie durch Rotation, bei schnellen Drehungen des Kopfes nach den verschiedensten Richtungen, schwindlich wurden. Er fand, dass nur bei 199 von 519 deutlicher Schwindel, bei 134 leichter Schwindel und bei 186 gar kein Schwindel auftrat, während die zur Kontrole an 200 Aerzten und Studenten vorgenommenen Versuche ergaben, dass Alle mit einer einzigen Ausnahme Schwindel bekamen. In diesen Ergebnissen glaubt James eine Bestätigung der Goltz'schen Theorie zu sehen.

Nächst ihm hat Kreidl[1]) zur Beantwortung der viel umstrittenen Frage eine Reihe von Untersuchungen an den Zöglingen der nieder-österreichischen Landes-Taubstummenschule angestellt. Erstens prüfte er mit Hülfe eines eigens konstruirten Rotationsapparates die zuckenden, pendelnden Augenbewegungen, welche sich bei fortgesetzter Drehung des Kopfes in regelmässigen Zwischenräumen wiederholen und sich durch die geschlossenen Augenlider leicht hindurch fühlen lassen. Bei 50 Prozent der von ihm untersuchten Taubstummen fehlten diese Augenbewegungen. Ferner prüfte er 62 Taubstumme auf ihre Fähigkeit, bei Augenschluss sich im Raume zu orientiren, indem er sie auf einem karousselartigen Drehapparat den Zeiger eines Zifferblattes vertikal einstellen liess. Dies gelang 13 Taubstummen. Es verfielen also 20 Prozent keiner Täuschung über die Richtung der Vertikale, während dies bei 71 Normalen mit einer einzigen Ausnahme durchweg der Fall war. Endlich unterzog Kreidl das lokomotorische Verhalten der Taubstummen einer Prüfung. „Wie verhält sich“ — so fragte er sich — „der Taubstumme in einer Situation, wo es sich um ein rasches Arbeiten des fraglichen Balancirapparates handelt, und wie verhält er sich bei den groben Leistungen des Gehens und Stehens, wenn man die Empfindungen von Seiten des Gesichtes ausschliesst?“ Zur Beantwortung dieser Frage liess er 17 Kinder mit offenen und geschlossenen Augen in dem Turnsaal der Anstalt vorwärts marschiren, mit offenen und geschlossenen Augen auf beiden und auf einem Beine stehen, sowie über einen abgerundeten, auf dem Boden liegenden Baum, wiederum mit

1) A. Kreidl, Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths auf Grund von Versuchen an Taubstummen. Pflüger's Archiv 1891. Bd. LI, p. 119.

offenen und geschlossenen Augen, gehen resp. darauf stehen. Hierbei zeigten die meisten Kinder im Gegensatze zu Normalen eine ganz auffallende Ungeschicklichkeit, welche Kreidl ebenso wie die bei den anderen Versuchen konstatirten Störungen auf den vollkommenen oder theilweisen Mangel des Labyrinths beziehen zu müssen glaubt. Auf Grund seiner Beobachtungen kommt er dann ebenfalls zu dem Schluss, dass den Bogengängen die Funktion eines das Gleichgewicht vermittelnden Organs, eines „statischen Sinnes“, zuzusprechen sei.

Gegen diese Schlussfolgerungen nimmt Hensen[1]) Stellung in einem im vergangenen Jahre im physiologischen Verein zu Kiel gehaltenen Vortrage, in welchem er unter anderen[2]) auch auf die Kreidl'schen Untersuchungen eingeht. Hensen verharrt dabei auf seinem bisher vertretenen Standpunkte, dass der Vorhofbogenapparat lediglich als ein akustisches Sinnesorgan aufzufassen sei. Das, was an dem Vorhofbogenapparat ermittelt worden ist, kann nach seiner Ansicht nicht unseren Sinnen gleichgesetzt werden. „Unsere Sinnesorgane verrathen“ — so äussert sich Hensen — „ihre Anwesenheit so vorzüglich deutlich, dass ein Sinnesorgan, welches erst von Physiologen im Menschen entdeckt worden ist, wohl apokryph sein muss. Was thut denn aber der neu entdeckte Sinn? Man muss zugestehen, dass wir ohne alle jene vom sechsten Sinne verursachten Schwindelerscheinungen und Täuschungen ganz gut, ja, dem Anscheine nach besser über diese Erde wallen könnten.“ Er schliesst seinen Vortrag mit den Worten:

> „Wenn die Entdeckung des sechsten Sinnes auch ganz modern ist, so ist jetzt — wie ich glaube — doch nicht mehr damit durchzukommen.“

Bei der überaus kontroversen Anschauung über diese wichtige Frage und namentlich auch bei der Kleinheit der von Kreidl angestellten Beobachtungen lag es mir zunächst daran, die Ueberzeugung zu gewinnen, ob die Mittheilungen Kreidl's den Verhältnissen entsprechen, um so mehr, als Hensen gerade in Bezug

---

1) V. Hensen, Vortrag gegen den sechsten Sinn, Archiv für Ohrenheilkunde, Bd. XXXV, Heft III und IV, p. 161.

2) Hierhin gehört die Arbeit von J. Pollak, Ueber den „galvanischen Schwindel“ bei Taubstummen und seine Beziehungen zur Funktion des Ohrlabyrinths. Pflüger's Archiv 1893. Bd. LIV, p. 188.

auf das lokomotorische Verhalten der Taubstummen einen Zweifel ausgesprochen hat, der, wenn begründet, den Folgerungen Kreidl's jede Basis nehmen würde; und so habe ich es unternommen, die Kreidl'schen Versuche einer Nachprüfung zu unterziehen.

Auf Veranlassung meines verehrten Chefs, des Herrn Dr. B. Baginsky, dem ich für die Anregung zu diesen Untersuchungen und für die gütigst ertheilten Rathschläge bei der Ausführung derselben an dieser Stelle meinen wärmsten Dank ausspreche, verwandte ich für meine Untersuchungen 68 Zöglinge der hiesigen königlichen Taubstummenanstalt, mit gütiger Erlaubniss des Direktors, Herrn Walther, welcher meinen Wünschen in liebenswürdigster Weise entgegenkam und mich im Verein mit den Herren Taubstummenlehrern bei meinen Untersuchungen bereitwilligst unterstützte. Allen diesen, insbesondere Herrn Direktor Walther, sei bei dieser Gelegenheit noch einmal mein ergebener Dank ausgesprochen.

Ausserdem habe ich vierzehn erwachsene Mitglieder des Taubstummen-Turnvereins „Herz", welcher seine Uebungen in dem Turnsaale der Schule wöchentlich abhielt, in analoger Weise zur Untersuchung herangezogen.

Mit Rücksicht darauf, dass Hensen gerade von einer besonderen lokomotorischen Ungeschicklichkeit Taubstummer nichts bemerkt haben will, beschränkte ich mich im wesentlichen darauf, das lokomotorische Verhalten des mir zur Verfügung gestellten Taubstummenmaterials zu prüfen. Ich machte meine Versuche in der Turnanstalt der Schule und stellte den Kindern, deren Alter zwischen 6 und 16 Jahren variirte, im Grossen und Ganzen nach dem Beispiele Kreidl's folgende Aufgaben. Sie mussten mit offenen, dann mit geschlossenen Augen

1) geradeaus durch den Turnsaal marschiren,
2) auf einem Fusse vorwärtshüpfen,
3) mit geschlossenen Beinen stehen,
4) auf einem Beine stehen und
5) auf dem sogenannten Schwebebalken[1]) mit beiden Beinen balanciren.

---

1) Unter Schwebebalken versteht man einen langen, an beiden Enden gestützten, schmalen und oben abgeflachten Balken, dessen Abstand vom Fussboden in dem vorliegenden Falle etwa 40 Centimeter betrug.

Ich habe mich nicht auf das einfache Vorwärtsmarschiren beschränkt, sondern daran noch das Vorwärtshüpfen auf einem Beine geknüpft, weil die stärkeren Schwankungen des Körpers bei dieser Uebung meiner Vorstellung nach ein energischeres Arbeiten des fraglichen Balancirapparates erfordern mussten.

In letzter Linie untersuchte ich die Kinder noch auf Drehschwindel hin, indem ich sie veranlasste, sich mit geschlossenen Augen längere Zeit schnell um ihre Körperachse zu drehen, und sie, sobald sie äusserlich die Erscheinungen des Schwindels in Form unsicherer Drehbewegungen und Schwankungen zeigten, plötzlich anhielt und rasch die Augen öffnen liess, wobei ich gleichzeitig auf etwaigen Nystagmus achtete.

Um jedoch einen einwandsfreien Massstab für die Beurtheilung meiner Versuchsergebnisse zu gewinnen, stellte ich zunächst Kontrolversuche an 28 gesunden Knaben der 130. und 32 Mädchen der 27. Berliner Gemeindeschule an, welche sich in denselben Altersstufen wie die Zöglinge der Taubstummenanstalt und in den verschiedensten konstitutionellen Verhältnissen befanden. Mit gütiger Erlaubniss der Herren Rektoren Vietz und Beyer, denen ich hierfür bestens danke, stellte ich den Kindern die oben angegebenen Aufgaben. Allen 60 gelang es fast durchweg, die Uebungen in einwandsfreier Form auszuführen, insbesondere, auf einem Beine sicher zu stehen, was ich um so mehr hervorheben möchte, als Hensen behauptet, dass gerade das Stehen auf einem Beine nur unter Aufwand grosser Mühe möglich sei. Drehschwindel und Nystagmus wurden in allen Fällen konstatirt.

Nur 5 Kinder (1 Knabe und 4 Mädchen) zeigten ein abnormes Verhalten, das sich nach meinen protokollarischen Notizen folgendermassen darstellte:

1) Margarethe K. 13 J. Bei offenen Augen fester, bei geschlossenen Augen vorsichtiger Gang. Kann bei Augenschluss nicht auf einem Beine stehen. Die übrigen Versuche fallen normal aus. Drehschwindel sehr ausgesprochen, horizontaler Nystagmus.

2) Martha L. 12 J. Geht bei geschlossenen Augen etwas taprig vorwärts und geräth, wenn sie bei Augenschluss auf einem Beine stehen soll, in lebhaftes Schwanken. Kann bei geschlossenen Augen auch nicht auf dem Schwebebalken mit beiden Beinen stehen. Drehschwindel, Nystagmus.

3) Elisabeth St. 9 J. Weicht beim Vorwärtsgehen mit geschlossenen Augen etwas nach rechts von der geraden Richtung ab und schwankt beim

Versuch, mit geschlossenen Augen einbeinig zu stehen. Drehschwindel; deutlicher Nystagmus.

4) Martha K. 9 J. Geht bei geschlossenen Augen sicher vorwärts, weicht aber nach rechts von der Geraden ab. Stehen auf einem Beine bei offenen Augen erschwert, bei geschlossenen Augen ganz unmöglich. Vermag auch auf dem Schwebebalken nur mühsam zu balanciren. Drehschwindel; starker Nystagmus.

5) Hans R. 13 J. Weicht beim Vorwärtsgehen mit geschlossenen Augen etwas nach links von der geraden Richtung ab und hüpft bei Augenschluss unsicher vorwärts. Steht dagegen sicher auf beiden und auf einem Beine bei offenen wie bei geschlossenen Augen. Drehschwindel und Nystagmus nicht bestimmt nachweisbar.

Nach Prüfung der normalen ging ich an die Untersuchung der taubstummen Schulkinder. Ich gebe im Folgenden, der besseren Uebersicht wegen, eine Tabelle, in welcher neben den sonst interessirenden Daten (Alter, Schulklasse, Ohrenbefund, Grad und Ursache der Taubheit) die Resultate der lokomotorischen Prüfung, die ich zum Ausschluss von Irrthümern zu verschiedenen Zeiten wiederholt habe, verzeichnet sind.

In dieser Weise habe ich 68 Taubstumme (37 Knaben und 31 Mädchen) untersucht und bin dabei zu folgenden Ergebnissen gekommen.

Von 68 taubstummen Kindern zeigten bezüglich der Balance und Orientirung 32 = 47,1 Prozent Abweichungen von der Norm. Diese 32 Schüler und Schülerinnen benahmen sich durchaus ungeschickt und unsicher, obgleich sie sich die grösste Mühe gaben, es denjenigen ihrer Mitschüler gleichzuthun, welche den an sie gestellten Anforderungen in normaler Weise nachkamen. Die meisten Versuche misslangen. Rechnet man hierzu noch diejenigen Fälle, in welchen deutlich erkennbare Abweichungen nur bei einzelnen Uebungen auftraten, so erhöht sich die Zahl sogar auf 37 = 54,4 Prozent. Besonders auffallend erscheint der Unterschied zwischen normalen und taubstummen Schulkindern beim einbeinigen Stehen auf ebenem Boden; hier zeigten rund 50 Prozent der Taubstummen abnormes Verhalten. Auf beiden Beinen bei geschlossenen Augen zu stehen, ohne zu schwanken, gelang dagegen ausnahmslos allen. In diesem, aber auch nur in diesem Punkte besteht keine Differenz zwischen taubstummen und normalen Kindern.

Was den Drehschwindel anlangt, so trat derselbe angeblich bei 65 von 68 Zöglingen auf, bei vielen von ihnen jedoch in einer

Tabelle I.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
1	Felix Guttfeld	13	I	beiderseits stark einwärts gezogen und getrübt	Gehör für Pfeife	angeboren	Schwankt auf einem Bein, sobald er die Augen schliesst, und vermag auch bei offenen Augen nicht auf dem Schwebebalken zu stehen; sonst nichts Abnormes.
2	Fritz Luster	15		bds. einwärts gezogen und leicht getrübt	ganz taub	Masern im I. Jahre	normal.
3	Anna Tamm	16		bds. hochgradig atrophisch und einwärts gezogen	Vokalgeh. rechts	angeboren	normal.
4	Margarethe Brandt	14		bds. einwärts gezogen und getrübt	ganz taub	angeboren	normal.
5	Elsbeth Stöveno	13		bds. Otitis med. purul. chron. c. perforatione (L Granulationen)	Wortgehör	Scharlach-Diphther. im V. Jahre	fast normal.
6	Alfred Neubauer	16		L leicht getrübt R partiell atrophisch mit zwei Verkalkungen	ganz taub	Gehirnhaut-Entzündung im I. Jahre	Geht vorsichtig, wie suchend, mit geschlossenen Augen vorwärts und taumelt beim Vorwärtshüpfen hin und her, während beide Uebungen bei geöffneten Augen sicher gelingen. Steht bei Augenschluss sicher auf beiden Beinen, ziemlich sicher auch bei geöffneten Augen auf einem Bein, schwankt aber heftig, sobald er die Augen schliesst. Kann nicht auf dem Schwebebalken stehen. Wird angeblich erst nach lang anhaltendem Drehen schwindlig; Nystagmus.
7	Paul Krause	13	II	L leicht getrübt R verdickt, mit halbmondförmiger Trübung in der hinteren Hälfte	ganz taub	angeboren	normal.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
8	Eugen Bauer	13	II	L stark einwärts gezogen u. hochgradig atrophisch R einwärts gezogen und leicht getrübt	Gehör für Pfeife rechts	Gehirnhaut-Entzündung im II. Jahre	Schwankt auf einem Bein bei geschlossenen Augen; sonst normal; wird angeblich erst nach lang anhaltendem Drehen schwindlig.
9	Paul Zock	14		bds. einwärts gezogen und atrophisch	ganz taub	„Erkältung“ im I. Jahre	Geht und hüpft sicher vorwärts, weicht aber bei geschlossenen Augen nach rechts von der geraden Richtung ab. Kann auf einem Bein bei Augenschluss nicht stehen. Drehschwindel; Nystagmus.
10	Marie Löffelmeier	13		L getrübt und verkalkt R völliger Verlust des Trommelfells; Eiterung am oberen Pol	Vokalgehör links	Masern im II. Jahre	normal.
11	Willy Grabe	13		beiderseits normal	Flüsterstimme verschärft am Ohr	Fall im III. Jahre	normal.
12	Erich Kogge	13		beiderseits normal	Schallgehör	„Krämpfe“ i. I. Jahre	Geht mit geschlossenen Augen schräg durch den Saal; steht unsicher auf dem Schwebebalken. Drehschwindel wenig ausgeprägt.
13	Hans Arnheim	13		bds. einwärts gezogen und leicht getrübt	etwas Schallgehör	Ohreiterung i. I. Jahr.	normal.
14	Otto Aleith	13		bds. alte abgelaufene eitrige Mittelohrentzündung mit Narbe	R Vokalgehör L Laute Stimme am Ohr	Gehirnhaut-Entzündung im II. Jahre	Kann bei geschlossenen Augen nicht auf einem Beine stehen und weicht beim Vorwärtshüpfen, wenn die Augen geschlossen sind, von der geraden Richtung ab; fällt vom Schwebebalken herab. Wird angeblich erst nach lange anhaltendem Drehen um die Körperaxe schwindlig; Nystagmus ist nicht zu konstatiren.
15	Albert Braun	15		bds. stark einwärts gezogen und atrophisch	ganz taub	Rachitis im II. Jahre	normal.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
16	Marie Gettkandt	14	II	bds. getrübt, einwärts gezogen und atrophisch	laute Stimme, 0,1—0,3 m	angeboren	Geht und hüpft bei geschlossenen Augen schräg durch den Saal, ohne besonders zu schwanken. Ist nicht im Stande, auf einem Beine bei Augenschluss zu balanciren.
17	Arthur Hedelt	13	III	bds. einwärts gezogen und atrophisch	ganz taub	angeboren	normal.
18	Carl Puich	11		L Otitis med. purul. chron. c. perforat. completa R völliger Verlust des Trommelfells; Paukenhöhle vernarbt	Schallgehör	Scharlach-Diphther. im IV. Jahre	Geht bei geschlossenen Augen unsicher, etwas schwankend gerade aus; weicht beim Vorwärtshüpfen andauernd von der Richtung ab und macht dabei kurze, unregelmässige, stossartige Bewegungen. Steht sicher auf beiden Beinen, auch bei Augenschluss, ebenso auf einem Bein bei geöffneten Augen. Völlige Unfähigkeit, bei Augenschluss auf einem Bein zu stehen. Fällt vom Schwebebalken herab. Wird angeblich beim Drehen um die Längsaxe des Körpers nach geraumer Zeit schwindlig, lässt aber keinen Nystagmus erkennen.
19	Max Falkenberg	$11^1/_2$		R alte abgelaufene eitrige Mittelohrentzündung mit Narbe und Verkalkung L Otit. med. purul. chron. c. perforat. magna	ganz taub	angeboren	Schwankt etwas bei dem Versuch, mit geschlossenen Augen auf einem Bein zu stehen; sonst normal.
20	Martha Oehmke	12		bds. einwärts gezogen und etwas atrophisch	ganz taub	angeboren	Weicht beim Vorwärtsgehen mit geschlossenen Augen etwas nach rechts von der geraden Richtung ab und steht auf einem Beine bei Augenschluss nicht immer sicher. Wird angeblich erst nach anhaltendem Drehen um die Längsaxe des Körpers schwindlig; leichter Nystagmus.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
21	Frieda Schwartze	12	III	L diffus getrübt R alte abgelaufene eitrige Mittelohrentzündung mit Narbe vorn und grosser die Narbe umschliessender Verkalkung	ganz taub	Zahnkrämpfe im I. Jahre	Geht breitbeinig, tappend mit geschlossenen Augen vorwärts, ohne von der Richtung abzuweichen. Steht sicher bei geschlossenen Augen auf beiden Beinen, schwankt aber, sobald sie ein Bein erhebt. Weicht beim Vorwärtshüpfen etwas von der Richtung ab und vermag auf dem Schwebebalken nicht zu balanciren. Dreht sich auffallend lange und schnell um ihre Körperaxe, bis sie taumelt. Ganz leichter Nystagmus, der nicht immer nachweisbar ist.
22	Elsbeth Seeliger	12		R stark einwärts gezogen und atrophisch mit Randumknickung L desgleichen in geringerem Grade	Schallgehör	„Krämpfe“ i. I. Jahre	normal.
23	Agnes Lenz	$12^1/_2$		R hochgradig atrophisch mit sehniger Randtrübung. L einwärts gezogen und getrübt	etwas Vokalgehör	Gehirnhaut-Entzündung im II. Jahre	fast normal.
24	Ida Brandt	13		bds. alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narbe	ganz taub	angeboren	normal.
25	Wilhelm Aswendt	12	IV	bds. stark einw. gezogen und getrübt	ganz taub	angeboren	fast normal.
26	Paul Laurisch	11		beiderseits normal	ganz taub	Diphtherie i. II. Jahre	Weicht beim Vorwärtsgehen und -hüpfen von der geraden Richtung ab und zeigt dabei unsicheres, tastendes Benehmen. Stehen auf einem Beine sicher. Drehschwindel; starker Nystagmus.
27	Rudolf Steinhausen	11		R einwärts gezogen und getrübt L alte abgel. Mittelohrentzdg. mit grosser Narbe	R Vokalgehör L Wortgehör laut am Ohr	angeboren	normal.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
28	Hermann Heinze	11	IV	bds. einwärts gezogen und atrophisch	ganz taub	Nicht sicher feststellbar	(Wegen Krankheit nicht untersucht.)
29	Oscar Elert	12		R stark einw. gezogen mit multiplen Atrophieen L einw. gezog. mit sichelförmiger Trübung in der hinteren Hälfte	Schallgehör	Scharlach im I. Jahre	normal.
30	Ewald Mann	$10^1/_2$		beiderseits fast normal	Vokalgehör	Scharlach i. II. Jahre	Zeigt beim Vorwärtsgehen und -hüpfen grosse Unsicherheit und kommt von der geraden Richtung ab. Stehen auf einem Beine bei geöffneten Augen erschwert, bei geschlossenen Augen ganz unmöglich; vermag sich auch auf dem Schwebebalken nicht zu halten. Dagegen steht er mit geschlossenen Beinen auf ebenem Boden fest und ruhig. Drehschwindel und Nystagmus nicht nachweisbar.
31	Martin Hoffmann	12		R alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narben L Otitis med. purul. chron. cum perforat. completa (wahrscheinlich Caries des Hammers)	ganz taub	Scrofulose im I. Jahre	Geht mit geschlossenen Augen ziemlich unsicher vorwärts und weicht beim Gehen und Hüpfen von der geraden Richtung ab. Stehen auf beiden und auf einem Beine sicher. Drehschwindel; Nystagmus.
32	Franz Lietzow	11		bds. stark einwärts gezogen und atrophisch	etwas Wortgehör	Fall im II. Jahre	Vorwärtsgehen und -hüpfen unsicher, von der Richtung abweichend. Stehen auf einem Beine bei Augenschluss unsicher, ebenso Balanciren auf dem Schwebebalken. Drehschwindel, Nystagmus.
33	Walter Hülsebusch	$9^1/_2$		L stark sehnig getrübt R alte abg. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narben	Schallgehör	Masern im II. Jahre	Zeigt beim Gehen und Hüpfen mit geschlossenen Augen unsicheres, tastendes Verhalten. Schwankt beim Einbeinig-Stehen sowohl bei offenen wie bei geschlossenen Augen; fällt vom Schwebebalken herab. Drehschwindel; kein Nystagmus.

	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
34	Rosa Zobel	11	IV	bds. alte abgel. eitr. Mittelohrentzündg. mit Narbe u. Verkalkung. Leichte Injektion der Hammergriffgefässe	ganz taub	Gehirnhaut-Entzündung im IV. Jahre	Geht unsicher, breitbeinig und taumelnd mit geschlossenen Augen vorwärts. Weicht beim Hüpfen andauernd nach rechts und links von der Richtung ab. Steht mit geschlossenen Beinen fest, schwankt aber beim einbeinigen Stehen mit offenen ebenso wie mit geschlossenen Augen. Balanciren auf dem Schwebebalken unmöglich. Wird erst nach anhaltendem Drehen schwindlig; Nystagmus vorhanden.
35	Erna Hauptmann	11		bds. einwärts gezogen und getrübt.	Wortgehör	Im IV. Jahre aus unbekannter Ursache erworben	fast normal.
36	Margar. Fürbringer	11	V	R alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narbe und Verkalkung L alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narbe und Atrophieen	Schallgehör	angeboren	Unsicheres Verhalten beim Gehen und Hüpfen mit geschlossenen Augen. Stehen auf einem Beine und auf dem Schwebebalken unmöglich. Drehschwindel; Nystagmus.
37	Auguste Loewenberg	10		bds. fast normal	ganz taub	angeboren	normal.
38	Clara Schwantz	12		bds. fast normal	ganz taub	Gehirnhaut-Entzündung im V. Jahre	Bei geschlossenen Augen schwankender, breitbeiniger Gang; taumelt beim Vorwärtshüpfen. Steht mit geschlossenen Augen fest, geräth aber in heftiges Schwanken, sobald sie versucht, bei offenen oder geschlossenen Augen, ein Bein zu erheben. Balanciren auf dem Schwebebalken sehr erschwert. Wird anscheinend erst nach lang anhaltendem Drehen schwindlig; Nystagmus nicht nachweisbar.
39	Alma Bertram	10		bds. einw. gezogen und atrophisch	ganz taub	Gehirnhaut-Entzündung im I. Jahre	Geht und hüpft bei geschlossenen Augen unsicher und in schräger Richtung vorwärts. Schwankt beim Stehen auf einem Beine, sobald Augenschluss erfolgt. Drehschwindel; Nystagmus.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
40	Georg Protzen	11	V	bds. alte abg. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narbe	ganz taub	Gehirnhaut-Entzündung im III. Jahre	Bei geöffneten Augen normales Verhalten. Bei geschlossenen Augen wird der Gang unsicher, schwankend; Stehen auf einem Beine unmöglich. Fällt vom Schwebebalken bei Augenschluss herab; Drehschwindel: kein Nystagmus.
41	Fritz Drogies	$10^1/_2$		bds. einw. gezogen u. atrophisch	ganz taub	angeboren	Zeigt unsicheres Verhalten beim Gehen und Hüpfen. Steht bei offenen Augen auf einem Beine nicht sonderlich fest, schwankt stark bei Augenschluss. Balanciren auf dem Schwebebalken unmöglich. Drehschwindel; Nystagmus.
42	Fritz Partecke	10		bds. einw. gezogen u. getrübt	Wortgehör	angeboren	Geht und hüpft ziemlich unsicher und in schräger Richtung vorwärts. Stehen auf einem Beine und Balanciren auf dem Schwebebalken stark erschwert. Drehschwindel; Nystagmus.
43	Friedrich Melms	$10^1/_2$		bds. alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narbe	ganz taub	Ohreiterung im I. Jahre	fast normal.
44	Ernst Krümmling	10	VI	bds. einw. gezogen, getrübt und atrophisch	ganz taub	angeboren	normal.
45	Marie Goldschmidt	9		bds. Otitis med. purul. chron. c. perforat. completa.	ganz taub	Diphtherie i. I. Jahre	normal.
46	Therese Brandt	10		R stark einw. gezog., atrophisch und getrübt L stark einw. gezogen mit centraler Atrophie	ganz taub	angeboren	normal.
47	Gertrud Nierhoff	$9^1/_2$		bds. hochgradig einw. gezog., getrübt u. atrophisch	ganz taub	Scrofulose i. II. Jahre	normal.
48	Recha Guttfeld	10		R einw. gezogen, mit starker sehniger Trübung L einw. gezog. u. getrübt	Schallgehör	Masern im II. Jahre	Beim Vorwärtsgehen und -hüpfen auffallend unsicheres, tapriges Verhalten; weicht stark von der Richtung ab. Beim Stehen und Balanciren keine Störung. Drehschwindel, starker Nystagmus.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
49	Otto Heise	10	VI	bds. alte abgel. eitr. Mittelohrentzündg. mit grosser centraler Narbe	Vokalgehör	Masern im II. Jahre	fast normal.
50	Richard Glaeser	$9^1/_2$		bds. fast normal	ganz taub	Gehirnhaut-Entzündung im I. Jahre	Zeigt bei geschlossenen Augen taprigen, breitspurigen Gang und taumelt beim Hüpfen wie ein Trunkener hin und her. Stehen auf einem Beine bei offenen Augen unsicher; bei geschlossenen Augen nimmt die Unsicherheit noch zu. Balanciren auf dem Schwebebalken ganz unmöglich. Drehschwindel; Nystagmus nicht nachweisbar.
51	Max Kaske	10		bds. Otitis med. purul. chron. mit grosser Perforation u. granulirender Paukenhöhle	ganz taub	Scharlach-Diphther. im IV. Jahre	Weicht beim Gehen und Hüpfen mit geschlossenen Augen etwas von der geraden Richtung ab; sonst keine Abweichungen von der Norm. Drehschwindel; Nystagmus nicht nachweisbar.
52	Richard Koswig	10		bds. alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narben	ganz taub	Gehirnhaut-Entzündung im VII. Jahre	Bei geschlossenen Augen stark schwankender Gang. Bei dem Versuch vorwärts zu hüpfen, taumelt er wie trunken hin und her und stürzt schliesslich zu Boden. Während er mit geschlossenen Beinen sicher steht, geräth er bei Erheben eines Beines — gleichviel ob er die Augen öffnet oder schliesst — in lebhaftes Schwanken. Vom Schwebebalken fällt er herab. Drehschwindel; kein Nystagmus.
53	Johannes Heide	$8^1/_2$	VII	bds. einw. gezogen, getrübt und atrophisch	ganz taub	Gehirnhaut-Entzündung im I. Jahre	Geht bei geschlossenen Augen unsicher, wie tastend vorwärts und taumelt ziemlich stark beim Vorwärtshüpfen. Der Versuch, bei offenen oder geschlossenen Augen einbeinig zu stehen, misslingt. Wird angeblich erst nach lang anhaltendem Drehen schwindlig; Nystagmus nicht nachweisbar.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
54	Willy Gericke	8	VII	L fast normal R einw. gezog., atrophisch und leicht getrübt	ganz taub	Pocken im I. Jahre	Gehen und Hüpfen bei geschlossenen Augen unsicher, tappend. Steht ziemlich mühsam auf einem Beine, sobald er die Augen schliesst. Balanciren auf dem Schwebebalken bei offenen Augen gelingt; bei Augenschluss unmöglich. Drehschwindel; starker Nystagmus.
55	Ernst Walter	$8^1/_2$		bds. normal	Schallgehör	angeboren	fast normal.
56	Anna Schappel	8		bds. einw. gezogen m. grosser centraler Atrophie	ganz taub	angeboren	Vorsichtiger, breitbeiniger Gang bei geschlossenen Augen. Das Vorwärtshüpfen geschieht stossweise. Steht höchst mangelhaft bei offenen und geschlossenen Augen auf einem Beine. Fällt bei Augenschluss vom Schwebebalken herab. Beginnt erst nach anhaltendem Drehen zu taumeln. Kein Nystagmus.
57	Emma Neumann	10		bds. einw. gezogen, atrophisch und getrübt	ganz taub	Flecktyphus (?) im I. Jahre	Vorsichtiger, tappender Gang. Hüpft unsicher vorwärts. Steht bei geöffneten Augen auf einem Beine sicher, beginnt aber stark zu schwanken, sobald sie die Augen schliesst. Fällt bei Augenschluss vom Schwebebalken herab. Drehschwindel; Nystagmus nicht nachweisbar.
58	Luise Böttcher	$10^1/_2$		bds. alte abg.' eitr. Mittelohrentzdg. mit Narben	Schallgehör	Scharlach-Diphther. im I. Jahre	normal.
59	Luise Graf	10		bds. fast normal	Vokalgehör	Scrofulose i. I. Jahre	normal.
60	Gertrud Zeschmar	$9^1/_2$		bds. normal	ganz taub	angeboren	Bei geschlossenen Augen breitbeiniger, tappender Gang. Taumelt beim Vorwärtshüpfen hin und her. Steht mit geschlossenen Beinen fest und sicher, schwankt aber, sobald sie ein Bein erhebt. Vermag sich nicht auf dem Schwebebalken zu halten. Drehschwindel; starker vertikaler Nystagmus.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
61	Hedwig Schultze	10	VII	bds. fast normal	ganz taub	„Krämpfe“ i. I. Jahre	Geht bei geschlossenen Augen zögernd, suchend und unsicher vorwärts und taumelt beim Vorwärtshüpfen. Vermag weder bei geöffneten noch bei geschlossenen Augen auf einem Beine zu stehen. Balanciren auf dem Schwebebalken unmöglich. Wird angeblich erst nach anhaltendem Drehen um die Körperaxe schwindlig; Nystagmus nicht sicher zu erkennen.
62	Elisabeth Daber	$9^1/_2$		—	ganz taub	„Erkältung“ im II. Jahre	Prüfung wegen rechtsseitiger Parese erschwert; immerhin hinterlässt die Prüfung den Eindruck, als ob das lokomotorische Verhalten beeinträchtigt ist. Weicht beim Gehen und Hüpfen stark von der geraden Richtung ab. Vermag auch auf dem linken (intakten) Bein nicht zu stehen. Wird erst nach anhaltendem Drehen schwindlig; Nystagmus nicht sicher erkennbar.
63	Fritz Arnemann	9	VIII	R diffus getrübt L einwärts gezogen und getrübt	etwas Schallgehör	Gehirnhaut-Entzündung im I. Jahre	fast normal.
64	Bernhard Müller	$7^1/_2$		bds. sehnig getrübt und verdickt	ganz taub	angeboren	Weicht beim Gehen und Hüpfen mit geschlossenen Augen stark von der Richtung ab. Schwankt beim Stehen auf einem Beine, sobald er die Augen schliesst. Benimmt sich im Ganzen ungeschickt und unbeholfen. Drehschwindel; leichter Nystagmus.
65	Carl Reinhardt	$7^1/_2$		beiderseits normal	etwas Schallgehör	Zahnkrämpfe im I. Jahre	Geht und hüpft bei Augenschluss ganz unsicher und taumelnd vorwärts. Steht bei geschlossenen Augen auf beiden Beinen gut, schwankt aber auffallend, sobald er versucht, ein Bein zu erheben. Vermag auch bei geöffneten Augen nicht auf einem Beine zu stehen. Unfähigkeit, auf dem Schwebebalken zu balanciren. Drehschwindel nicht sehr ausgeprägt; kein Nystagmus.

No.	Name	Alter	Klasse	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
66	Clara Fensloff	8	VIII	bds. alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narben	ganz taub	Scharlach-Diphther. im IV. Jahre	normal.
67	Cathar. Hildebrandt	8		bds. alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narbe	ganz taub	Ohreneiterung im I. Jahre	Geht und hüpft unsicher vorwärts. Stehen auf einem Beine bei offenen und geschlossenen Augen erschwert. Fällt vom Schwebebalken herab. Drehschwindel; Nystagmus.
68	Gertrud Lottermoser	7		R diffus getrübt L atrophisch, einw. gezogen mit peripherer Randumknickung	etwas Schallgehör	angeboren	Von einer leichten Unsicherheit beim einbeinigen Stehen abgesehen, annähernd normal.
69	Hedwig Neukrantz	6		bds. diffus getrübt	ganz taub	angeboren	Geht und hüpft unsicher, schwankend und in schräger Richtung durch den Turnsaal. Stehen auf einem Beine und Balanciren auf dem Schwebebalken gelingt leidlich. Drehschwindel; Nystagmus.

Form, dass man über einen gewissen Zweifel nicht hinauskam. Bei 3 Kindern konnte ich mich überhaupt nicht von dem Vorhandensein des Schwindels überzeugen; 12 begannen erst nach lang anhaltendem Drehen, das bis zu fünf Minuten und länger fortgesetzt werden konnte, zu taumeln und zu schwanken, und ich war versucht, dies mehr im Sinne von Ermüdungssymptomen als von Schwindelerscheinungen zu deuten. Die Angaben vieler anderer lauteten ganz unbestimmt und widersprechend und machten den Eindruck, als ob den Kindern der Begriff des Schwindligseins noch gar nicht zum Bewusstsein gekommen sei. Ich habe mir zwar im Verein mit den Taubstummenlehrern die grösste Mühe gegeben, den Kindern den Begriff des Schwindels durch Worte, Gesten und dergleichen klar zu machen; mit welchem Erfolge, lasse ich dahingestellt. Ich schliesse mich daher der von Kreidl geäusserten Meinung an, die dieser den James'schen Versuchen gegenüber zum Ausdruck bringt, dass die Daten über das Verhalten des Drehschwindels bei Taubstummen, soweit sie auf den subjektiven Angaben der untersuchten Personen beruhen, nicht einwandsfrei sind.

Bemerkenswerth ist, dass jene drei (Tabelle I, Nr. 30, 56, 65), welche keine Schwindelerscheinungen darboten, auch keinen Nystagmus zeigten, und dass von den obengenannten 12 Kindern 6 ebenfalls Nystagmus vermissen liessen.

Ich möchte endlich noch eine Erscheinung erwähnen, welche sich bei der Untersuchung der Kinder darbot, nämlich die unverkennbare Zunahme der lokomotorischen Störungen von den oberen zu den unteren Klassen. Je jünger die Kinder, um so häufiger und deutlicher jene Symptome.

Zur besseren Orientirung über dieses Verhalten mag die folgende Tabelle II dienen.

Klasse	Schülerzahl	Zahl der Kinder mit lokomotorischen Störungen
I	6	1
II	10	3
III	8	2
IV	11*)	6
V	8	6
VI	9	3
VII	10	7
VIII	7	4

*) Ein Schüler wegen Krankheit nicht untersucht.

Tabelle III.

No.	Name	Alter	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
1	Rudolf Kutter	23	—	R laute Stimme = 0,2—0,3 m L laute Stimme = 1 m	—	normal.
2	Paul Beier	22	—	ganz taub	—	Unsicherer, schwankender Gang bei geschlossenen Augen. Hüpft taumelnd vorwärts und weicht stark von der geraden Richtung ab. Steht bei Augenschluss mit geschlossenen Beinen gut auf ebenem Boden, schwankt dagegen — sowohl bei geöffneten wie bei geschlossenen Augen — sobald er ein Bein erhebt. Balanciren auf dem Schwebebalken bei Augenschluss unmöglich. Wird beim Drehen um die Körperaxe nicht schwindlig; kein Nystagmus.
3	Leo Fuss	19	L einwärts gezogen u. atrophisch R alte abgel. Mittelohrentzdg. mit Narbe	ganz taub	Gehirnhautentzdg. i. V. Jahre	Weicht beim Vorwärtsgehen mit geschlossenen Augen stark von der geraden Richtung ab. Vorwärtshüpfen unsicher, taumelnd. Einbeinigstehen bei geschlossenen Augen stark erschwert. Angeblich kein Drehschwindel; Nystagmus nicht nachweisbar.
4	Otto Bautze	18	L hochgradig atrophisch u. einw. gezogen R alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narben	Flüsterstimme verschärft a. Ohr	Scharlach im IV. J.	normal.
5	Ferd. Bruschinsky	21	—	ganz taub	—	normal.
6	Wilh. Fürstenberg	25	—	ganz taub	—	normal.
7	Albert Hins	24	—	—	—	normal.
8	Albert Michaelis	33	—	—	—	fast normal.
9	Wilh. Bruschke	18	bds. hochgradig atrophisch	L Vokalgehör R ganz taub	Fall im III. od. IV. Jahre	Bei geschlossenen Augen schwankender, tappender Gang und vollkommen unsicheres Hüpfen; kommt bei beiden Uebungen stark von der geraden Richtung ab. Stehen auf einem Beine bei Augenschluss unmöglich, desgleichen Balanciren auf dem Schwebebalken. Beides gelingt, sobald die Augen offen gehalten werden. Angeblich kein Drehschwindel; kein Nystagmus.

No.	Name	Alter	Trommelfellbefund	Grad der Taubheit	Ursache der Taubheit	Lokomotorisches Verhalten
10	Ferdinand Teske	22	bds. fast normal	R Vokalgehör L ganz taub	angeboren	Benimmt sich beim Vorwärtsgehen und -hüpfen unbeholfen, schwankt lebhaft und „stolpert" wiederholt. Einbeinigstehen bei Augenschluss ganz unmöglich. Vermag sich weder bei offenen noch bei geschlossenen Augen auf dem Schwebebalken zu halten. Angeblich kein Drehschwindel; Nystagmus nicht nachweisbar.
11	Willy Gottweiss	20	R alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narbe L atrophisch u. einwärts gezogen, mit sichelförm. Trübung in d. hint. Hälfte	Flüsterstimme (Zahlen) = 0,2m	Masern u. Diphtherie im II. Jahre	normal.
12	Gustav Fritz	25	bds. alte abgel. eitr. Mittelohrentzdg. mit Narbe	R etwas Vokalgehör L ganz taub	Wahrscheinlich Gehirnhautentzündg. im II. Jahre	Geht bei geschlossenen Augen tappend, tastend vorwärts und taumelt stark beim Hüpfen; weicht andauernd nach rechts und links von der Geraden ab Steht auf einem Beine sicher, solange er die Augen offen hält, geräth aber sofort in heftiges Schwanken, wenn er dieselben schliesst. Fällt vom Schwebebalken bei geöffneten und geschlossenen Augen herhab. Drehschwindel, selbst nach lang anhaltendem Drehen um die Körperaxe wenig ausgesprochen; Nystagmus nicht nachweisbar.
13	Hermann Jordan	23	L einwärts gezogen und getrübt R einwärts gezogen, atrophisch mit peripherer Randtrübung	ganz taub	Scharlach im IV. J.	Bei geschlossenen Augen breitbeiniger, schleppender und unsicherer Gang. Hüpft stossweise, nach rechts und links taumelnd, vorwärts. Steht mit geschlossenen Beinen, wenn er die Augen schliesst, sicher, ebenso auf einem Beine, solange er die Augen offen hält. Schwankt heftig, sobald er, auf einem Beine stehend, die Augen schliesst. Balanciren auf dem Schwebebalken unmöglich. Angeblich kein Drehschwindel; kein Nystagmus.
14	Emil Knoll	19	—	etwas Schallgeh.	—	normal.

In den ersten vier Klassen mit 34 Zöglingen boten 12 lokomotorische Störungen, 6 davon der vierten Klasse angehörig; in den letzten vier Klassen mit insgesammt 33 Kindern zeigten dagegen 20 diese Störungen.

Um nun beurtheilen zu können, ob etwa Alter und Erziehung von Einfluss auf die lokomotorische Funktion sei, dehnte ich meine Untersuchungen auf die Mitglieder des Taubstummen-Turnvereins „Herz“ aus und liess 14 von ihnen — soviel standen mir zur Verfügung — die gleichen Uebungen ausführen, wie vordem die Kinder. Die vorstehende Tabelle III veranschaulicht in übersichtlicher Weise die Ergebnisse dieser Versuchsreihe.

Es zeigten also von 14 erwachsenen Taubstummen 6 — was, wenn bei so kleinen Zahlen überhaupt von einem procentualen Verhältniss die Rede sein kann, 43 Procent entspricht — bezüglich der Balance und Orientirung im Raume ein gleich abnormes Verhalten wie die vorerwähnten 32 bezw. 37 taubstummen Kinder. Die spätere Entwicklung der geistigen und körperlichen Fähigkeiten durch Uebung und Unterricht reicht somit nicht aus, den Unterschied zwischen Normalen und Taubstummen auszugleichen. Von jenen 6 Taubstummen boten 5 selbst nach anhaltendem Drehen um die Längsaxe ihres Körpers keine Schwindelerscheinungen dar; auch ihre darauf bezüglichen Angaben lauteten vollkommen negativ. Bei dem sechsten liessen objektiver Befund und Aussage einen Zweifel als berechtigt erscheinen. Wenn auch den Angaben dieser 6 Taubstummen wiederum nur ein bedingter Werth beizumessen ist, so verdienen sie immerhin eine gewisse Bedeutung, da es sich um Personen handelt, welche den Begriff des Schwindligseins vielfach mit dem ihnen ziemlich geläufigen Begriff des Trunkenseins zu identificiren vermochten, Personen, deren Intelligenz in einzelnen Fällen soweit entwickelt schien, dass man das Verständniss für den Begriff des Schwindels voraussetzen konnte. Bei keinem dieser 6 wurde Nystagmus beobachtet.

Fasse ich nunmehr die Resultate der verschiedenen Versuchsreihen zusammen, so ergiebt sich daraus, dass in der That ein Unterschied im lokomotorischen Verhalten zwischen Normalen und Taubstummen, gleichviel ob Kindern oder Erwachsenen, besteht, und ich kann die von Kreidl auf Grund seiner Versuche angegebenen Thatsachen vollkommen bestätigen. Nach meinen Beobachtungen zeigten von

82 Taubstummen (68 Kindern und 14 Erwachsenen) im Ganzen 43 d. h. 52,4 **Prozent** ein abnormes lokomotorisches Verhalten. Diese Zahlen haben selbstverständlich keinen absoluten Werth, reichen aber vollkommen aus, um den auffallenden Unterschied zwischen Normalen und Taubstummen zu demonstriren. Nur in einem Punkte erhielt diese Thatsache durch die Untersuchung keine Stütze; beide, Normale wie Taubstumme, stehen bei Augenschluss auf zwei Beinen fest und sicher auf ebenem Boden. Eine diesbezügliche Angabe vermisse ich bei Kreidl. Doch möchte ich diesem übereinstimmenden Verhalten keine massgebende Bedeutung beilegen; denn es ist wohl anzunehmen, dass zur Ausführung dieser Uebung der supponirte Balancirapparat gar nicht erst in Anspruch genommen zu werden braucht. Dieser Punkt erscheint also irrelevant.

Was die Ungeschicktheit der oben erwähnten 5 normalen Schulkinder betrifft, die — an sich betrachtet — auf eine Funktionsanomalie des Balancirapparates hinweisen könnte, so ist dieselbe höchst wahrscheinlich auf die mangelhafte Körperentwicklung der Betreffenden zurückzuführen. Die Kinder machten einen durchaus schwächlichen, unentwickelten Eindruck, waren anämisch und skrofulös und wurden mir vom Lehrerpersonal als ängstlich und furchtsam von Natur bezeichnet. Damit wäre freilich die Unfähigkeit der drei letzten (Elisabeth St., Martha K., Hans R.), beim Vorwärtsgehen mit geschlossenen Augen die gerade Richtung innezuhalten, nicht erklärt; es dürfte indessen gerade auf diesen — übrigens nicht übermässig stark ausgeprägten — Orientirungsmangel an sich nicht allzu grosses Gewicht zu legen sein, da es auch vielen von uns nicht immer möglich ist, bei geschlossenen Augen in gerader Richtung vorwärts zu gehen.

Von einigen unwesentlichen Punkten abgesehen, kann also der Unterschied im lokomotorischen Verhalten zwischen normalen und taubstummen Menschen in keiner Weise bezweifelt werden — darin stimme ich mit Kreidl überein; und wenn eine so gewichtige Autorität wie Hensen anderer Meinung ist, so dürfte das nur daran liegen, dass derselbe, ohne genauere Versuche angestellt zu haben, nur auf Grund allgemeiner Beobachtungen, die den gröberen motorischen Verrichtungen durchaus entsprechen können, zu seinem Urtheil gekommen ist. In dieser Hinsicht bedarf Hensen's Urtheil einer Korrektur. „Es müsste doch wohl“ — explicirt Hen-

sen — „bei dem völlig freien Leben, welches die Kinder ausserhalb der Schulstunden führten, häufig ein Unglücksfall beim Treppen- und Leitersteigen, beim Klettern und Turnen eingetreten sein, es müssten bestimmte Vorsichtsmassregeln schon seit langer Zeit überall zur Anwendung gebracht worden sein." Solche Einrichtungen scheinen meiner Ansicht nach nicht erforderlich zu sein, da die gröberen motorischen Verrichtungen — bei geöffneten Augen — im Allgemeinen ohne Schaden ausgeführt werden können. Im Uebrigen habe ich die Beobachtung gemacht, dass diejenigen Kinder, welche bei Augenschluss unsicheres Verhalten zeigten, auch sonst immer zu den Ungeschickteren gehörten und freiwillig allen Anforderungen, die etwa an ihr statisches Leistungsvermögen hätten gestellt werden können, aus dem Wege gingen.

Es fragt sich nunmehr, wie man auf Grund der bei meinen Untersuchungen gefundenen Resultate die lokomotorischen Störungen taubstummer Menschen deuten bezw. welche Schlüsse man daraus auf das Vorhandensein eines besonderen statischen Sinnes in den Bogengängen ziehen kann. Der von Kreidl und ebenso von mir konstatirte Unterschied im statischen Verhalten zwischen Normalen und Taubstummen weist — darüber kann kein Zweifel sein — mit Bestimmtheit darauf hin, dass die Taubstummheit als solche in einem gewissen causalen Zusammenhang mit Störungen der Lokomotion steht.

Stellt man sich auf den Standpunkt derjenigen Physiologen, welche, von den Flourens-Goltz'schen Versuchen ausgehend, in den Bogengängen ein Gleichgewichtsorgan sehen, so könnte man — wie Kreidl und andere, neuerdings auch Matte[1]) und Bernstein[2]) dies thun — die lokomotorischen Störungen als Ausfallserscheinungen des Ohrlabyrinths bezw. der Bogengänge deuten, ohne dass man dabei auf die Taubheit, deren Ursache in pathologischen Veränderungen der Schnecke zu suchen wäre, zu rekurriren brauchte. Dieser Auffassung steht jedoch eine Schwie-

---

1) F. Matte, Experimenteller Beitrag zur Physiologie des Ohrlabyrinths. Pflüger's Archiv 1894, Bd. LVII, p. 437.

2) J. Bernstein, Ueber die spezifische Energie des Hörnerven, die Wahrnehmung binauraler (diotischer) Schwebungen und die Beziehungen der Hörfunktion zur statischen Function des Ohrlabyrinths. Pflüger's Archiv 1894, Bd. LVII, p. 475 (II. Theil).

rigkeit entgegen. Alle Autoren, welche die Bogengangsfrage zum Gegenstand physiologischer Experimente gemacht haben, führen die nach Durchschneidung der Halbzirkelkanäle bei Thieren beobachteten Gleichgewichts- und Bewegungsstörungen auf eine Reizung, nicht auf eine Zerstörung oder Lähmung der Ampullarnerven zurück. Bei unseren Taubstummen ist aber der Prozess entzündlicher Reizung, wenn anders er überhaupt im Ohrlabyrinth zu suchen ist, bereits längst abgelaufen; von einer Bogengangsreizung kann also hier nicht die Rede sein. Wenn aber lediglich die Reizung der Bogengänge als Ursache für die Koordinationsstörungen aufzufassen ist, so dürfte es schwierig sein, die bei Taubstummen vorhandenen Störungen dieser Art auf die Lähmung bezw. den Ausfall der Bogengänge zu beziehen und daraus auf die Funktion des Bogengangsapparates als eines Gleichgewichtsorgans zu schliessen. In dieser Beziehung würden also unsere Resultate nichts beweisen.

Man könnte aber noch von einem anderen Gesichtspunkte aus — nach dem Beispiele Kreidl's — den von ihm gezogenen Schlussfolgerungen beistimmen, wenn man die Uebereinstimmung der procentualischen Verhältnisse zwischen den von mir gefundenen und gewissen von Mygind[1]) gegebenen Zahlen in Rechnung zieht. Nach Mygind's statistischer Uebersicht zeigt sich nämlich das Labyrinth der Taubstummen am häufigsten als Sitz pathologischer Veränderungen, in 80 von 113 d. h. in ca. $^{2}/_{3}$ sämmtlicher Fälle. In 56 Procent betrafen die Abnormitäten den Bogengangsapparat. Kreidl, welcher bei der Drehung seiner Taubstummen die ruckweisen Bewegungen der Bulbi vermisste, identificirte diese 50 einfach mit den von Mygind angegebenen 56 Procent, welche pathologische Befunde an den Bogengängen aufweisen. In ähnlicher Weise könnte man versucht sein, die 52,4 Procent der von mir untersuchten Taubstummen, welche Lokomotionsstörungen zeigen, mit jenen 56 Procent von Mygind zu identificiren.

Nun hat die Taubheit bei der Taubstummheit, wenn anders man die Mygind'sche Statistik für die Deutung der Störungen verwerthen will, ihre Ursache in Erkrankungen der Bogengänge und in Erkrankungen der Schnecke, und zwar kommen 56 Procent

---

1) H. Mygind, Uebersicht über die pathologisch-anatomischen Veränderungen der Gehörorgane Taubstummer. Archiv f. Ohrenheilkunde, Bd. XXX, p. 76.

auf die Bogengänge, 40 auf die Schnecke. Die Differenz von 16 Procent zu Gunsten der Ersteren ist bei der relativen Kleinheit der Zahlen überhaupt irrelevant. Diese in 40 Procent aller Fälle nachgewiesene gleichzeitige Affection von Bogengängen und Schnecke berechtigt logischer Weise zu der Annahme, dass die lokomotorischen Störungen ebenso gut mit den pathologischen Veränderungen der Schnecke wie der Bogengänge in Zusammenhang stehen. Für sich allein können die Halbcirkelcanäle nicht zur Erklärung der lokomotorischen Störungen bei Taubstummen herangezogen werden; es kommt immer das Ohrlabyrinth in toto, dessen Function bisher kontrovers war und das sich aus Bogengangsapparat und Schnecke zusammensetzt, in Frage.

Hält man damit zusammen, dass mit dem Ausfall der Hörfunction als solcher unzweifelhaft auch die ganze geistige Entwicklung leidet — wie es treffend in dem Satze der Alten ausgesprochen ist: Nil est in intellectu, quod non fuerit in sensibus — so ergiebt sich, dass nicht der Verlust der Bogengänge allein, sondern mindestens auch der Ausfall der Schnecke mit herangezogen werden müsste, um die statischen Störungen zu erklären.

Wir würden damit constatiren können, dass das Gehörorgan als solches bezw. die normale Function desselben für die vollkommene Statik des Körpers von Bedeutung ist, und da auch die übrigen Sinnesorgane, das Auge, der Tastapparat, der Muskelsinn u. a., zu den statischen Functionen verwerthet werden, so würde das Gehörorgan keine Ausnahme von den übrigen Sinnesorganen bilden, bei deren Ausfall sich ebenfalls statische Störungen zeigen können; und so interessant auch das Zusammenfallen lokomotorischer Störungen mit der Taubstummheit sein mag, so würde das Auftreten dieser Störungen doch nur in analoger Weise aufzufassen sein wie bei Ausfall der anderen Sinnesorgane — entsprechend natürlich der Dignität derselben, da ja erfahrungsgemäss die einzelnen Sinnesorgane in Bezug auf ihre statische Leistungsfähigkeit nicht gleichwerthig sind.

Dem Einwande, dass unter der gegebenen Annahme das Ausbleiben von lokomotorischen Störungen bei etwa 48 Procent der von mir untersuchten Taubstummen nicht erklärt wird, glaube ich mit dem Hinweise begegnen zu können, dass die Taubstummheit keine einheitliche Krankheit ist, und dass sie in den verschiedensten

Lebensaltern unter den mannigfachsten Bedingungen auftritt, welche auf die geistige und körperliche Entwicklung des einzelnen Individuums verschieden einwirken werden — ganz abgesehen davon, dass auch, wie die Sektionsbefunde ergeben haben, die pathologischen Veränderungen bei der Taubstummheit in mannigfachster Ausdehnung, von ganz geringfügigen Abnormitäten bis zu den ausgebreitetsten, variiren können. Es kommt somit hier eine ganze Reihe von qualitativ und quantitiv verschiedenartigen Faktoren in Betracht, deren Einwirkung auf das statische Verhalten sich wahrscheinlich ganz verschieden darstellen, im Augenblick aber noch nicht für alle Fälle überblicken lässt. Denn es ist zu erwarten, dass Jemand, der cerebral und vielleicht im vorgeschritteneren jugendlichen Alter ertaubt, andere Störungen aufweisen wird, als ein Anderer, welcher erheblich früher durch eine periphere Ohrenerkrankung sein Gehör verloren hat.

Berücksichtigt man ausserdem, dass Drehschwindel und Nystagmus bei vielen Taubstummen vorhanden sind, bei anderen dagegen fehlen, so erhält man damit noch weitere kontroverse Momente, welche mindestens dazu mahnen, mit der Verallgemeinerung von Schlussfolgerungen, wie sie gerade bei Kreidl sich findet, vorsichtig zu sein.

Und diese Vorsicht erscheint um so mehr geboten, als auch die von James bezüglich des Drehschwindels gemachten Beobachtungen im Widerspruch stehen mit den von ihm gezogenen Schlussfolgerungen bezüglich der Function der Bogengänge. Denn wenn die Bogengänge im Sinne von Goltz als ein Gleichgewichtsorgan aufzufassen wären, müsste ihr Fehlen logischer Weise Störungen des Gleichgewichts, also auch Drehschwindel machen. James betont aber gerade den absoluten Mangel aller Schwindelerscheinungen bei einer grossen Zahl seiner Taubstummen und schliesst trotzdem oder gerade daraus auf die Function der Bogengänge als eines das Gleichgewicht vermittelnden Sinnes. Wenn auch, wie schon oben bemerkt, aus den unbestimmten Angaben der Taubstummen kein sicheres Urtheil über das Verhalten des Drehschwindels bei denselben gefällt werden kann, so hat doch James dieses Verhalten zum Ausgangspunkt seiner Schlussfolgeungen gemacht, und Kreidl hat nur die von James mitgetheilten Thatsachen beanstandet, nicht aber die Art und Weise, wie dieser — die Richtigkeit seiner Daten zugegeben — daraus Schlüsse zieht.

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Erwägungen dürfte es demnach kaum möglich sein, aus gewissen lokomotorischen Störungen bei Taubstummen auf die Function der Bogengänge als statischen Sinnes Rückschlüsse zu machen, und ich kann bezüglich dieses Punktes die von Hensen geäusserten Bedenken nur theilen.

(Aus dem Institut für Pharmakologie und physiologische Chemie zu Rostock.

Zur quantitativen Bestimmung des Glycocolls durch Ueberführung in Hippursäure.

Von

Max Gonnermann.

Im Verlauf einer Untersuchung, welche Herr Professor O. Nasse über die Antipeptone des Albumins und Glutins in der letzten Zeit anstellte, machte sich das Bedürfniss geltend, den Glycocollgehalt der verschiedenen Spaltungsproducte des Glutins genau zu bestimmen. Der Ausarbeitung einer Methode glaubte man überhoben zu sein, als die Arbeit von Charles S. Fischer[1]) erschien. Immerhin konnte eine Controle des von Fischer angewendeten Verfahrens nicht umgangen werden, auch schienen von vornherein einige Operationen einer Aenderung bedürftig. Auf Veranlassung von Herrn Prof. Nasse habe ich mich dieser Arbeit unterzogen und theile nun in Kürze die Ergebnisse derselben mit.

Das Verfahren von Fischer gründet sich auf die Beobachtung Baum's[2]), dass Glycocoll in stark alkalischer Lösung durch

1) Zeitschr. f. physiol. Chemie XIX. S. 164. 1894.

2) Zeitschr. f. physiol. Chemie IX. S. 465. 1885.

Benzoylchlorid leicht in Hippursäure überzuführen ist; die Ausführung ist folgende:

Gelatine (50 gr) wird durch Salzsäure zersetzt, das Reactionsproduct mit Bleioxyd digerirt, bis es alkalisch ist, das Filtrat mit Schwefelwasserstoff entbleit. Die auf 50 ccm eingedampfte Flüssigkeit wird in der siebenfachen Menge 10% Natronlauge gelöst und unter Schütteln allmählich mit Benzoylchlorid versetzt. Dann werden durch starke Salzsäure die Hippursäure und die Benzoësäure frei gemacht und durch Essigäther ausgezogen. Die nach vollständiger Entfernung des Essigäthers zurückbleibende syrupöse Masse wird in reinem Chloroform gelöst. Nach 24stündigem Stehen soll die Hippursäure als feines Pulver ausgeschieden sein, das schliesslich auf einem Filter gesammelt wird.

Fischer erhielt auf diese Weise im Durchschnitt aus 50 gr Gelatine 4,5 gr Hippursäure, auf 100 gr Gelatine berechnet 3,78 gr Glycocoll.

Um den Werth dieser Methode zu prüfen, begann ich mit reinem Glycocoll, löste 0,5 gr in wenig Wasser, fügte 5 ccm 10% Natronlauge und allmählig 8 ccm Benzoylchlorid zu. Die abgekühlte, noch stark alkalisch reagirende Flüssigkeit, versetzte ich mit starker Salzsäure und schüttelte mit Essigäther aus. Der Rückstand aus dem Essigäther-Auszug löste sich, wie Fischer angegeben, leicht in Chloroform, allein auch nach mehrtägigem Stehen schied sich aus dieser Lösung Nichts aus. Ich versuchte nun die Trennung der Hippursäure von der Benzoësäure durch Benzol, indem ich nach Verjagen des Chloroforms das Säuregemisch mit 30 gr reinen Benzols schüttelte. Die ungelöst zurückbleibende Hippursäure entsprach 0,479 gr Glycocoll.

Da sich möglicher Weise aus dem Lösungsverhältniss der beiden in Frage kommenden Säuren in Benzol Vortheile ziehen liessen, so mischte ich 0,5 gr Hippursäure mit Benzoësäure und behandelte dieses Gemisch in einem Extractionsapparat mit Rückflusskühler fünf Stunden lang mit Benzol. Nach Beendigung des Versuches zeigte sich das Filter vollkommen leer; aus dem Benzol schied sich beim Erkalten die Hippursäure vollkommen wieder aus und war so quantitativ wieder zu gewinnen. Leider liessen sich, wie sich bald zeigte, diese Erfahrungen bei dem Reactionsgemisch aus Glutin nicht verwerthen.

Gelegentlich dieser Versuche habe ich von Neuem die Lös-

lichkeit der Hippursäure in verschiedenen Flüssigkeiten festgestellt, und zwar durch Lösen von reiner Säure in grossem Ueberschuss in den erwärmten Lösungsmitteln. In je 200 ccm der auf ca. 18 ° C. abgekühlten filtrirten Lösung wurde dann der Trockenrückstand bestimmt.

So ergab sich, dass

1 gr Hippursäure 70 ccm Essigäther,
165 ccm Wasser,
400 ccm Aether,
1000 ccm Chloroform,
100000 ccm Benzol
(10000 ccm Benzol siedend)

zur Lösung bedarf.

In gleicher Weise wurde gefunden, dass 1 gr Benzoësäure sich in 12 ccm Benzol
370 ccm Wasser löst.

Die von Fischer vorgeschlagenen und den mitgetheilten Analysen nach von ihm auch mit Erfolg benutzte Methode hatte mich also bereits bei Verwendung von reinem Glycocoll im Stich gelassen, und bei dem Glutin war das Resultat nicht günstiger. Aber auch die von mir benutzte Trennung der Hippursäure von der Benzoësäure durch Benzol liess sich, wie bereits erwähnt, in dem letzteren Fall nicht anwenden.

Bevor ich jedoch für diese Trennung ein zum Mindesten in meinen Händen geeignetes Verfahren zu finden suchte, lag mir daran, das Glutin überhaupt auf eine andere Weise zu zersetzen. Warum sollte nicht an Stelle der Salzsäure, die ja nie ganz beseitigt werden kann — es geht sehr viel Bleichlorid bei dem langen Auswaschen in Lösung und liefert bei der Zerlegung durch Schwefelwasserstoff wieder viel Salzsäure — Schwefelsäure verwendet werden können? Nach den Erfahrungen des hiesigen Institutes zerlegt 20% Schwefelsäure in der Druckflasche im kochenden Wasserbad innerhalb fünf Tagen die eiweiss- und leimartigen Substanzen vollkommen und völlig gefahrlos.

Von dieser Erfahrung ausgehend behandelte ich 50 gr Gelatine mit 200 ccm 20% Schwefelsäure in der angegebenen Weise, erhitzte die bräunliche Flüssigkeit mit 400 ccm Wasser in einer geräumigen Porzellanschale auf dem Wasserbad und neutralisirte sie mit Bleiweiss (ca. 150 gr). Diese Operation dauert $2^1/_2$ bis 3 Stunden.

Man lässt nun 12 Stunden stehen, giesst die klare Flüssigkeit durch das Saugfilter und wäscht auf demselben den Niederschlag so lange aus, bis eine Probe auf dem Platinblech erhitzt sich nicht mehr bräunt. Die Gesammtflüssigkeit, die höchstens 3 Liter beträgt, wird bis zum Syrup eingedampft, mit 200 ccm 10% Natronlauge und allmählich mit 25 ccm Benzoylchlorid versetzt. Nach dem Erkalten des Reactionsgemisches werden 60 ccm 30% Schwefelsäure zugegeben. Eine kleine Menge von Bleisulfat scheidet sich nun noch aus. Der syrupöse Rückstand des Essigäther-Auszuges wird in 100 ccm Chloroform, welchem 5 ccm Benzol zugefügt sind, gelöst. Die anfänglich klare, rothgelbe Flüssigkeit trübt sich rasch und lässt allmählich ein weisses Pulver (Hippursäure) ausfallen. Nach 24 Stunden sammelt man das Pulver auf einem Saugfilter und wäscht anfangs mit benzolhaltigem, schliesslich mit reinem Chloroform aus, bis dieses auf dem Uhrglas verdampft keinen tropfigen Rückstand mehr gibt. Das Pulver ist dann weiss und braucht nur noch vollkommen getrocknet zu werden.

Auf diese Weise habe ich drei Versuche ziemlich zu gleicher Zeit ausgeführt. Die ganze Operation verläuft abgesehen von der Zersetzung durch Schwefelsäure schnell, man hat nur geringe Mengen von Flüssigkeiten einzudampfen und entgeht dem lästigen Arbeiten mit Schwefelwasserstoff, — entschiedene Vorzüge gegenüber dem Fischer'schen Verfahren.

Das Ueberraschendste ist jedoch, dass nach der im Vorstehenden beschriebenen Methode eine bedeutend höhere Ausbeute erzielt wird. Es ergaben je 50 gr Gelatine[1]) in

Vers. I	9,175 gr	Hippursäure	= 7,73 %	Glycocoll
„ II	10,021 „	„	= 8,44 %	„
„ III	9,927 „	„	= 8,35 %	„

während Fischer im Durchschnitt nur 3,78% Glycocoll aus Gelatine erhielt.

Um mich zu überzeugen, dass jenes weisse Pulver, dessen Menge ich bestimmt hatte, auch wirklich Hippursäure sei, führte

1) Zu Vers. I war eine käufliche Gelatine von anderer Herkunft verwendet worden als zu den folgenden Versuchen. Uebrigens ist bei Vers. I ein Beobachtungsfehler nicht ganz ausgeschlossen. Jedenfalls darf aus den mitgetheilten Zahlen nicht ohne Weiteres auf einen verschiedenen Glycocollgehalt der käuflichen Gelatine geschlossen werden.

ich dasselbe einerseits in Benzoësäure über und zwar auf Vorschlag des Herrn Prof. Nasse durch Orthophosphorsäure, da von den anderen, zu solchen Spaltungen benutzbaren Säuren nicht unbedeutende Mengen beim Ausschütteln mit Aether in diesen übergehen. Um die Spaltung vollkommen zu erreichen, muss syrupöse Phosphorsäure verwendet und die Erhitzung im kochenden Wasserbad in der Druckflasche längere Zeit fortgesetzt werden. Es wurde auf diese Weise die der angewendeten Hippursäure entsprechende Menge von Benzoësäure wiedererhalten, und da andererseits die als Hippursäure angesehene Substanz bei 186° C. schmolz, so war die Identität mit Hippursäure erwiesen.

Die bedeutend, um mehr als das Doppelte höhere Ausbeute, die bei der hier beschriebenen Modification der Fischer'schen Methode erhalten wird, und ihr somit noch einen weiteren Vorzug verleiht, erklärt sich wohl einfach daraus, dass die Verwendung von Bleioxyd bei Gegenwart von Salzsäure vermieden wird. Schüttelt man nämlich käufliches Bleioxyd (Bleiglätte) mit Salzsäure, die stark verdünnt sein kann, so entwickelt sich Chlor (vielleicht auch Chlortetroxyd). Dem Gemisch zugefügter Jod-Kalium-Stärke-Kleister wird intensiv gebläut, ebenso auch ein mit diesem Reagenz befeuchtetes Papier an der Mündung des Reagenzrohres. Schüttelt man ferner Bleiglätte mit Wasser und etwas Guajactinctur, so entsteht bereits eine schwache Blaufärbung. Schwefelsäure ändert hieran nichts, dagegen wird das Gemisch sofort dunkelblau bei Zusatz von ein paar Tropfen Salzsäure. Dass aber das leicht zersetzbare Glycocoll bei stundenlanger Berührung mit Chlor und mit Sauerstoffatomen vollständig erhalten bleiben sollte, ist wohl kaum anzunehmen. So wird denn auch ganz allgemein vor der gleichzeitigen Verwendung von Bleioxyd und Salzsäure zu warnen sein.

(Aus dem physiologischen Institut in Göttingen.)

Fortgesetzte Untersuchungen über die elektrischen Erscheinungen am thätigen Nerven.

Von

Dr. **Heinrich Boruttau,**
Assistenten und Privatdozenten.

Mit 2 Holzschnitten.

Nachdem die in einer früheren Mittheilung[1]) von mir veröffentlichten Versuche an Nerven und Kernleitern zu dem Ergebniss geführt hatten, dass sich alle unter der Wirkung erregender Einflüsse am Nerven auftretenden elektrischen Erscheinungen aus seiner Natur als Kernleiter erklären lassen, erwies es sich als nothwendig, einige der an betreffender Stelle im Zusammenhang dargestellten Einzelresultate durch ergänzende Versuche zu vervollständigen, sowie auch einigen neuen Fragen der Nervenphysiologie durch geeignete Experimente näher zu treten.

Die Grunderscheinungen, auf welchen das erwähnte Gesammtergebniss fusst, nämlich das Auftreten einer Negativität der proximalen Ableitungselektrode bei extrapolarer Ableitung eines Kernleiters, welchem kongruente Wechselströme zugeführt werden, und die durch die Versuche am Rheotom ermöglichte Zurückführung dieser Erscheinung auf den von der Kathode aus wellenförmig sich fortpflanzenden Katelektrotonus wurden erhalten an Kernleitern aus zwei Elektrolyten, sowie an dem aus Platindraht in verdünnter Kochsalzlösung bestehenden Kernleiter. Von allen Metallen, welche zur Herstellung des Kernes bisher verwendet wurden, zeigte nur das Platin dieses wichtige, den Grund zu unsern weiteren Versuchen und Folgerungen bildende Verhalten. Die andern Metalle, von denen früher die Rede war, nämlich Aluminium, Nickel und

1) Pflüger's Archiv, LVIII, S. 1 ff.

Quecksilber, stets mit 0,6% Kochsalzlösung als Hülle versehen, ergaben bei Zuführung von Wechselströmen, unter allen Bedingungen, extrapolar abgeleitet, nur Positivität der proximalen Elektrode, welche sich als Ueberwiegen des Anelektronus leicht erklärt. Eine weitergehende Heranziehung noch anderer Metalle erschien bei der Wichtigkeit des Gegenstandes um so mehr geboten, als, wie früher schon hervorgehoben wurde, eine physikalische Erklärung des Wesens der in Rede stehenden Erscheinungen noch fehlt, das Platin aber gerade unter sämmtlichen Metallen hinsichtlich gewisser physikalischer Eigenschaften besonders ausgezeichnet ist. Die in dieser Richtung unternommenen Versuche ergaben nun zunächst, dass auch das Kupfer sich wie Aluminium, Nickel und Quecksilber verhält, d. h. stets das Ueberwiegen der Anodenpolarisation zeigt, und zwar unabhängig davon, ob die Oberfläche des Drahtes noch ganz blank, oder bereits mehr oder weniger oxidirt ist. Dass die Oxidationsfähigkeit in feuchter Luft oder in indifferenten Flüssigkeiten für die in Rede stehenden Wirkungen nicht von Belang ist, zeigte sich weiterhin dadurch, dass auch Kernleiter aus chemisch reinem Silber- und Golddraht — von 1 mm Dicke und 30 cm Länge — ebenfalls das Verhalten der andern genannten Metalle im Gegensatz zum Platin zeigten, obwohl Gold und Silber als sog. Edelmetalle mit diesem letzteren die geringe Neigung zur Oxidation theilen.

Von allen bis jetzt von uns verwendeten Metallen ist es nur ein zweites Element der Platingruppe, welches dasselbe Verhalten zeigt wie das Platin, nämlich das Palladium. Ein Kernleiter aus Palladiumdraht von 1 mm Dicke und 30 cm Länge in 0,6% Kochsalzlösung ergab in allen Versuchen dasselbe, quantitativ hinsichtlich der negativen Ausschläge noch etwas mehr ausgesprochene Verhalten, wie Kernleiter aus Platindraht in 0,6% Kochsalzlösung. Hinsichtlich der Einzelergebnisse kann ich mich darum einfach auf das früher mitgetheilte beziehen.

Wenn man daran denken wollte, das hier in Rede stehende qualitativ besondere Verhalten der beiden Platinmetalle gegenüber den geprüften Repräsentanten der übrigen Metalle in Verbindung zu bringen mit der Eigenschaft jener, Gase auf ihrer Oberfläche zu verdichten, so muss man sich doch daran erinnern, dass auch andere Metalle, namentlich andere Edelmetalle, besonders Gold, diese Eigenschaft, wenn auch in geringerem Grade, ebenfalls be-

sitzen. Uebrigens ist ein besonderes Verhalten von Platinelektroden bei der Elektrolyse mit Wechselströmen bereits festgestellt und theoretisch untersucht[1]). Jedenfalls wird hierauf auch die rein physikalische Untersuchung der vorliegenden Thatsachen Rücksicht nehmen müssen[2]).

Die Analogie nun zwischen diesen Kernleitern aus Platin und Palladium in 0,6 % Kochsalzlösung, sowie den aus zwei Elektrolyten bestehenden Kernleitern einerseits und dem Nerven andererseits bei erregenden elektrischen Einwirkungen (Intensitätsschwankungen, „Stromstössen") hatte sich im vollsten Masse gezeigt bei der an Kernleitern ausgeführten künstlichen Reproduktion der von Hermann als „phasische Aktionsströme" des Nerven bezeichneten Erscheinungen, d. h. also der wellenförmigen Fortpflanzung einer galvanischen — negativen — Phase von der durchströmten bzw. gereizten Strecke aus auf weite Entfernungen hin mit messbarer Geschwindigkeit und mit, im Verhältnis zu dem Verhalten der „festen Polarisation" durch den konstanten Strom geringem, mit zunehmender Entfernung abnehmendem (am „stromlosen" Nerven ganz fehlenden) Dekrement.

Das Objekt der Versuche, welche zu diesen Ergebnissen führten, waren Glasröhrenkernleiter bis zu 1 m Länge und — für Kernleiter aus zwei Elektrolyten — Thonpfeifenröhren bis zu 60 cm Länge. Um indessen die Analogie mit dem Nerven auch hinsichtlich der im Verhältniss zu ihrer Dicke beträchtlichen Länge der Nervenfasern zu vervollständigen, hielten wir die Wiederholung der Versuche an noch viel längeren Modellen für wünschenswerth.

---

1) Hopkinson, Wilson u. Lydall, Proceedings of the Roy. Society, LIV.

2) Hier glaube ich auch daran erinnern zu sollen, dass Bernstein gelegentlich der Darstellung seiner „Theorie der Nerven- und Muskelerregung" (Untersuchungen aus dem physiolog. Inst. in Halle, 1888, I.) den Nerven mit einem mit Sauerstoff beladenen, von Flüssigkeit umgebenen Platindraht verglichen hat, wobei er allerdings die Anordnung als Kernleiter nur zur Erklärung der elektrotonischen Ströme annimmt, während er für die Erregung und die mit ihr verbundenen elektrischen Erscheinungen eine elektro-chemische Modifikation von du Bois-Reymond's Molekulartheorie aufstellt, und zwar auf Grund der von Hoppe-Seyler, Pflüger und Ehrlich entwickelten Theorie der intramolekularen Oxidation (sogen. Ferment- oder Sprengstoff-Theorie) und einer willkürlichen Annahme elektrischer Ladungen und räumlicher Anordnungen der Atome.

Es wurde daher mit Hülfe längerer, geeignet verbundener Glasröhren ein Kernleiter aus 0,3 mm dünnem Platindraht in 0,6 % Kochsalzlösung hergestellt von solcher Länge, dass der Abstand zwischen durchströmter und abgeleiteter Strecke auf vier Meter gesteigert werden konnte, bei einer Gesammtdicke (gleich dem Lumen der Röhre) von 4 mm. Ueber die an demselben erhaltenen Ergebnisse ist im allgemeinen zu sagen, dass auch auf diese recht bedeutende Entfernung hin die wellenförmige Fortpflanzung der Negativität höchst deutlich zu beobachten war, ferner aber, dass eben auch nur diese Erscheinungsform der extrapolaren Wirkung sich auf solche Entfernung hin fortpflanzte, wodurch die Analogie zum Nerven thatsächlich einwandsfrei wird. Wurde nämlich durch die Strecke *rr* (s. untenstehendes Schema) ein konstanter Strom



geschickt, so zeigte sich während der Dauer desselben von der Strecke *ab* bei einem Abstande *ra* = 4 m keine mit Sicherheit nachzuweisende Wirkung auf das Galvanometer oder Kapillarelektrometer, insbesondere auf der Anodenseite kein positiver Ausschlag oder anelektrotonischer Strom, auch nicht bei hochgesteigerter Astasie der empfindlichen Bussole, und auch dann nicht, wenn durch möglichste Wegräumung aller Widerstände und Steigerung der Elementenzahl die Stromintensität bis zu starker Gasentwicklung in der Hüllenflüssigkeit zwischen Platindraht und zuleitenden Elektroden gesteigert wurde. Dagegen war im Moment des Schlusses auf der Kathodenseite und demjenigen der Oeffnung auf der Anodenseite ein, wenn auch geringfügiger, kurzdauernder Ausschlag im Sinne einer Negativität der proximalen Elektrode sichtbar. Bedeutend ansehnlicher zeigte sich ein solcher momentaner negativer Ausschlag, als einzelne Induktionsschläge des Induktoriums, sei es „gewöhnliche", sei es „nivellirte" mittels Schlüssels durch die Strecke *rr* geführt wurden: Ganz unabhängig von ihrer Richtung entsprach jedem ein kurzer negativer Ausschlag. Wurden Wechselströme durch *rr* geführt, so zeigte sich eine Negativität von *a*, welche so lange dauerte, wie jene „Tetanisation".

Wie beim Nerven, so auch beim langen Kernleiter wird die „feste Polarisation" durch die dem polarisirenden Strom gleich

gerichteten elektrotonischen Ströme auf grössere Entfernungen, d. h. im Verhältniss zur Dicke lange Strecken, nicht mehr angezeigt. Dagegen folgt auf Dasjenige, was den Nerven zu erregen im Stande ist, nämlich die elektrische Intensitätsschwankung, sei es nun durch Schliessung oder Oeffnung eines konstanten Stroms, oder durch einen Induktionsschlag, eine einzelne „negative Schwankung", ein „Aktionsstrom"; und hierin ist der Kernleiter sogar dem Nerven voraus, insofern die negative Schwankung bei der elektrischen Einzelreizung am Nerven wenigstens nicht ganz sicher[1]) beobachtet worden ist.

Dass die in Rede stehende Wirkung von der (jeweiligen) Kathode der durchströmten Strecke ausgeht, kann nach der an anderer Stelle bereits gegebenen Entwickelung nicht in Frage gestellt werden. Was die Anode betrifft, so pflanzt sich offenbar deren Wirkung nicht nur, wie bereits dargethan, langsamer fort, sondern es geht ihr auch überhaupt die Fähigkeit ab, sich auf so weite Entfernungen hin fortzupflanzen.

Dies zeigt sich auch in Versuchen mit den Wechselströmen des Schlitteninduktoriums. Während bei geringem Abstande *ra* zwischen durchflossener und abgeleiteter Strecke mit zunehmender elektromotorischer Kraft der Induktion (durch Annähern der Rollen), erst Negativität, dann ein Wendepunkt, dann Positivität der proximalen Elektrode durch Ueberwiegen des Anelektrotonus auftritt, so rückt der Wendepunkt bei zunehmendem Abstande *ra* auf immer kleineren Rollenabstand hinaus, wie schon a. a. O. erwähnt ist, und bei dem Abstande von vier Metern nun zeigt sich weder Wendepunkt noch Positivität: Wechselströme erzeugen immer nur Negativität der proximalen Elektrode.

Auch die Analyse durch das Differentialrheotom führte zu dem Ergebniss, dass auf solche Entfernungen hin nur noch eine „Negativitätswelle" sich fortpflanzt. Hierbei ist es gleichgültig für das Ergebniss, ob durch die Strecke *rr* vermittelst des Rheotoms kurze, frequente Kettenströme oder die Doppelinduktionsschläge des Schlitteninduktoriums geleitet werden: in beiden Fällen zeigt sich die in zwei Phasen

1) Hierüber vergl. einerseits: v. Bezold und Hirt, Arbeiten aus dem Würzburger physiolog. Institut, I 1867, S. 143, andererseits Fick und Böhm, ibid., 1873, S. 202, sowie Verhandl. d. W. med.-phys. Ges.

über die abgeleitete Strecke hinlaufende Negativitätswelle, durch welche die proximale Elektrode *a* gegen die distale erst negativ, dann positiv ist. Qualitative und quantitative Eigenschaften der Welle, sowie ihre Fortpflanzungsgeschwindigkeit sind die gleichen in beiden Fällen, so dass man bei einer und derselben Schieberstellung des Rheotoms abwechselnd die polarisirende Kette und das Induktorium mit seinen Betriebselementen in den „Reizkreis" einschalten kann und dabei stets denselben Ausschlag der Bussole erhält. Die Höhe der beiden Phasen (die Grösse der maximalen negativen und positiven Ausschläge) ist bei diesem Abstande zwischen beiden Strecken nahezu die gleiche; ein Zeichen dafür, dass das „Dekrement" nur noch sehr gering ist. Die an diesem 4,5 m langen Kernleiter gefundene Geschwindigkeit der Fortpflanzung stimmt vorzüglich mit der an den kürzeren Kernleitern erhaltenen[1]) überein, wie aus der nachfolgenden Versuchstabelle zu ersehen ist. Eine Variation der Temperatur der Kochsalzlösung wurde aus begreiflichen Gründen hier nicht versucht[2]).

I.

Rheotomversuch an einem 4,5 m langen Kernleiter aus dünnem Platindraht in 0,6 % Kochsalzlösung. (Induktionsströme oder Kettenströme mit gleichem Resultat.)

rr = 8 cm Rheotom-Tourenzahl = 20.
ab = 20 cm 1 Theilstr. = 0,0005 Sec.
ra = 390 cm Kontaktzeit von 96 bis 99,5.

Eintritt der negativen Phase bei 48, Dauer bis 65
„ „ positiven „ „ 65, „ „ 83.

Fortpflanzungszeit von 96 bis 48 = 52 Theilstriche, oder 0,026 Sec. für den Weg von 390 cm, entspricht einer Geschwindigkeit von **150** m.

Nachdem die soeben geschilderten Versuche die ausschliessliche Fähigkeit der katelektrotonischen Welle, sich auf sehr weite Entfernungen hin fortzupflanzen, sicher bewiesen haben, nachdem andererseits aber ein wellenförmiger Ablauf auch des Anelektroto-

1) a. a. O., S. 54, 55.

2) Das letztere gilt auch für die Berechnung der Fortpflanzungsgeschwindigkeit aus der Differenz der Maxima beider Phasen und der Länge der abgeleiteten Strecke, wie hier nachträglich erwähnt sei. Auch Hermann erwähnt die Unsicherheit dieser Methode für den Nerven, welche bei dem flachen Verlauf der Phasen am Kernleiter eben zur Unmöglichkeit wird.

nus sowohl bereits aus Hermanns, wie auch aus meinen Versuchen sich ergeben hatte, blieb noch die Aufgabe, das Verhalten der nicht zur Platingruppe gehörigen Metalle — welche als Kernleiter mit Hülle aus 0,6 % Kochsalzlösung, von Wechselströmen durchflossen, unter allen Umständen das Ueberwiegen der Anodenpolarisation zeigen — gleichfalls mit dem Rheotom zu prüfen. Die Anwendung kurzer Kettenströme ergab hier (bei mässigem Abstande beider Strecken) durchaus ähnliche Stromverlaufskurven, wie bei den aus Platindraht gefertigten Kernleitern. Die Anwendung der Induktionsströme dagegen liess, wie zu erwarten war, das Ablaufen einer „Positivitätswelle" über die abgeleitete Strecke *ab* erkennen, derart, dass die proximale Elektrode *a* gegen die distale *b* erst positiv, dann negativ ist. Der Höhenunterschied beider Phasen ist ein beträchtlicher, das Dekrement also bedeutend, woraus mittelbar die Unfähigkeit folgt, sich auf besonders weite Strecken hin fortzupflanzen. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit ist beiläufig halb so gross, wie diejenige der am Platinkernleiter auftretenden negativen Welle. Die genaueren Daten sind aus der folgenden Versuchstabelle ersichtlich.

II.

Rheotomversuch an einem Kernleiter aus Aluminiumdraht in 0,6 % Kochsalzlösung. Induktionsströme.

rr = 20 mm Rheotom-Tourenzahl = 20.
ab = 60 mm
ra = 330 mm Kontaktzeit von 92,5 bis 98.
Erste Phase positiv, Eintritt bei 1,5, Dauer bis 7,5
Zweite Phase negativ „ „ 7,5 „ „ 15,0.

Fortpflanzungszeit von 92,5 bis 1,5 = 9 Theilstriche, oder 0,0045 Sec. für den Weg von 33 cm; entspricht einer Geschwindigkeit von $73\frac{1}{3}$ m.

Obgleich ich auf das Fehlen einer aus den bis jetzt bekannten Thatsachen der Physik möglichen Erklärung der in Rede stehenden wellenförmig verlaufenden elektrischen Erscheinungen bereits an anderer Stelle hingewiesen habe, glaube ich doch hier noch ausdrücklich daran erinnern zu sollen, dass bereits Hermann[1]) anlässlich der ersten Beobachtung solcher Erscheinungen ausdrücklich hervorgehoben hat, dass das einfache, zunächst für „feste Po-

---

1) Pflügers Arch., XXXV, S. 19.

larisation“ aufgestellte Schema und die Vorstellung von der Stromfädenausbreitung weder für die von ihm beobachteten Erscheinungen, noch für das Entstehen der Polarisation, noch endlich für eine Theorie der Nervenerregung ausreiche, dass aber die Möglichkeit der Entstehung von Wellenerscheinungen durch galvanische Polarisation sich dereinst noch vielleicht werde exakt nachweisen lassen. Ich glaube, dass dieser Gegenstand chemisch-physikalischer Forschung gerade in dieser Zeit um so grösseres Interesse verdient, da durch die Arbeiten von Hertz die wellenförmige Fortpflanzung der Elektrizität durch den gaserfüllten Raum und längs der Oberfläche von Leitern nachgewiesen und damit der Forschung ein ganz neues Gebiet eröffnet ist. Auch in rein physiologischer Hinsicht dürfte es von besonderer Wichtigkeit sein, zu prüfen, ob und inwieweit die wellenartige Fortpflanzung der extrapolaren elektrischen Erscheinungen am Kernleiter bez. Nerven an das thatsächliche Eintreten von Elektrolyse, und sei es nur im geringsten Masse sich knüpft und infolge davon von bleibenden chemischen Veränderungen begleitet ist, oder nur auf einem von der Elektrolyse selbst noch zu unterscheidenden, derselben voraufgehenden Polarisationsvorgang beruht.

Da indessen dies der Zukunft zu überlassen sein wird, so sollen jetzt noch einige Versuche beschrieben werden, welche die Auffassung des Nerven als Kernleiter noch weiter rechtfertigen. Das Verhalten eines verzweigten, durch den konstanten Strom polarisirten Kernleiters hat bereits Hermann geprüft, und dabei gefunden, dass in jedem Zweige die Wirkung schwächer, im Stamm hinter der Verzweigung aber verstärkt ist. Nach den von mir in dieser Richtung angestellten Versuchen kann ich mittheilen, dass für die Wirkungen der Stromstösse und Wechselströme dasselbe gilt. Die negativen Ausschläge, bez. die durch das Rheotom zu erhaltende Negativitätswelle zeigen sich an jedem der Zweige deutlich, wenn auch quantitativ geschwächt. Wichtiger als die Verzweigungsversuche sind solche, in denen zwei Kernleiter streckenweise einander anliegen, an beiden Enden divergiren, und an denen die Wirkung der durch eine Strecke am freien Ende des einen geleiteten elektrischen Applikationen auf den andern Kernleiter geprüft wird. Knüpft sich doch hieran die experimentelle Frage der sekundären Zuckung vom Nerven aus, sowie allgemein die Frage von fundamentaler Wich-

tigkeit, worauf die isolirte Leitung in den einzelnen Nervenfasern beruht. Versuche, in welchen ein natürlicher Kernleiter, nämlich ein Froschnerv, auf eine gewisse Strecke einem künstlichen Kernleiter — Metalldraht mit feuchter Hülle nach Matteucci — angelegt wurde, hat bereits Schiff in Jahre 1868[1]) angestellt; er erhielt bei Polarisirung des (künstlichen) Kernleiters durch einen konstanten Strom an dem angelegten Nerven die nämlichen Resultate, wenigstens in physiologischer Hinsicht, wie wenn statt des (künstlichen) Kernleiters ein zweiter Nerv verwendet worden wäre, — Erscheinungen, welche als sog. sekundärer Elektrotonus schon lange bekannt sind[2]). Es bildet nämlich der angelegte Nerv mit der anliegenden Strecke einen Schliessungsbogen für den elektrotonischen Strom des andern Nerven oder — in Schiff's Versuchen — des Kernleiters, welcher natürlich im „sekundären" Leiter die umgekehrte Richtung hat. Die Durchströmung durch diesen elektrotonischen Strom erzeugt nun extrapolar wieder Elektrotonus in dem angelegten Nerven, welchen Schiff in seinen Kernleiterversuchen durch die Erregbarkeitsänderungen, sowie durch die beim Entstehen und Verschwinden nach Pflüger's Gesetz in der mit dem Nerven in Verbindung gelassenen Muskulatur auftretenden Zuckungen nachwies. In den Versuchen mit zwei Nerven ist der sekundäre Elektrotonus auch physikalisch, in Gestalt der „sekundären elektrotonischen Ströme" nachgewiesen, welche selbstredend auch die umgekehrte Richtung haben von derjenigen im primär polarisirten Nerven.

Ich ging nun in meinen mit zwei (künstlichen) Kernleitern anzustellenden Versuchen gleichfalls von der Wirkung des konstanten Stromes aus und erhielt, ganz nach Erwarten, entsprechend dem Verhalten zweier Nerven, auf's schönste und deutlichste die „sekundären elektrotonischen Ströme", welche dem Verlaufe des „primären" in seinem Kernleiter, somit dem Verlaufe des Kettenstroms entgegengesetzt gerichtet sind. Diese Versuche und ihre Ergebnisse sind in Folgendem schematisch verdeutlicht, wozu noch zu bemerken ist, dass der eine Kernleiter stets ein mit

1) Nuovo Cimento, apr. 1868; Gesamm. Abhandl. I., S. 553f.

2) du Bois-Reymond, Moleschott; vergl. hierüber Hermann, Handb. II, S. 160 f.

in 0,6 % Kochsalzlösung getränkter Baumwolle umsponnener Draht war, dessen beide Enden im stumpfen Winkel abgebogen waren, während das Mittelstück dem andern, geraden Kernleiter anlag; dieser letztere war nach Bedarf als umsponnener Draht oder als Röhrenkernleiter hergerichtet. Es sind nun r r' bez. ϱ ϱ' die durchströmten, a b bez. α β die abgeleiteten Strecken des einen oder andern Kernleiters. So lange nun die Entfernungen r_1 a, r_1 α, ϱ_1 a, ϱ_1 α mässig gross und von einander nicht wesentlich verschieden bleiben, folgen die primären und sekundären elektrotonischen Ströme folgendem Schema, wobei die Stromrichtung in der durchströmten Strecke, sowie das Verhalten der proximalen Ableitungselektrode in früher schon angewendeter Weise bezeichnet ist:



$r \rightarrow r_1$	a —	α +
$r \leftarrow r_1$	a +	α —
$\varrho \rightarrow \varrho_1$	α —	a +
$\varrho \leftarrow \varrho_1$	α +	a —

Ein im allgemeinen dem entsprechendes Verhalten fand sich nun auch bei Anwendung von frequenten Wechselströmen: immer hatten die sekundären Erscheinungen die den primären entgegengesetzte Richtung, so dass also bei Anwendung des Schlitteninduktoriums mit gewöhnlichem Hammerspiel — am primären Kernleiter, wie bekannt, mit abnehmendem Rollenabstand erst negatives Verhalten der proximalen Elektrode, dann Wendepunkt, dann positives Verhalten sich zeigt, dagegen am sekundären Kernleiter erst positives, dann Wendepunkt, dann negatives Verhalten:

$$r \rightleftarrows r^1: \left\{ \begin{array}{cc|cc} a & - & \alpha & + \\ a & 0 & \alpha & 0 \\ a & + & \alpha & - \end{array} \right.$$

$$\varrho \rightleftarrows \varrho^1: \left\{ \begin{array}{cc|cc} \alpha & - & a & + \\ \alpha & 0 & a & 0 \\ \alpha & + & a & - \end{array} \right.$$

Die Anwendung der *Helmholtz*'schen Einrichtung ergab:

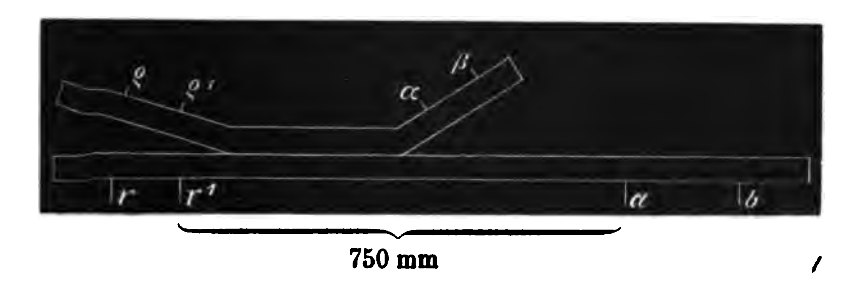
$$r \rightleftarrows r^1: \left\{ \begin{array}{cc|cc} a & - & \alpha & + \\ a & 0 & \alpha & 0 \end{array} \right.$$

$$\varrho \rightleftarrows \varrho^1: \left\{ \begin{array}{cc|cc} \alpha & - & a & + \\ \alpha & 0 & a & 0 \end{array} \right.$$

und diejenige des Sinusinduktors:

$$r \rightleftarrows r^1: \quad a - \quad \alpha +$$
$$\varrho \rightleftarrows \varrho^1: \quad \alpha - \quad a +$$

Indessen fällt bei Anwendung der Wechselströme auf, dass die im *sekundären* Kernleiter erzeugte *Positivität* der proximalen Elektrode im Verhältniss zu der Negativität am primären Kernleiter *schwach* ist. Sie *bleibt ganz aus*, wenn der sekundäre, oder beide Kernleiter sehr lang genommen werden, so dass *der Abstand der abgeleiteten von der durchströmten Strecke* nun ebenfalls *gross* ist, wie in folgendem Versuch:



750 mm

Schlitteninduktorium:

$$r \rightleftarrows r^1 \left\{ \begin{array}{cc|cc} a & - & \alpha & + \\ a & 0 & \alpha & 0 \end{array} \right.$$

$$\varrho \rightleftarrows \varrho^1 \left\{ \begin{array}{cc|cc} \alpha & - & a & 0 \\ \alpha & 0 & a & 0 \\ \alpha & + & a & - \end{array} \right.$$

Sinusinduktor:

$$\varrho \rightleftarrows \varrho^1 \quad a - \quad a\ 0$$
$$r \rightleftarrows r^1 \quad a - \quad a + \text{schwach.}$$

Das Ablaufen katelektrotonischer Wellen an einem Kernleiter kann somit an einem andern, ihm anliegenden Kernleiter keine galvanischen Erscheinungen auf grössere Entfernungen hin veranlassen, während das Ueberwiegen des (kräftigen) Anelektrotonus an dem ersteren zur Entstehung von Negativitätswellen am sekundären Kernleiter die Ursache werden kann. Dieses Verhalten entspricht aber durchaus der für den Nerven sicher bewiesenen Thatsache, dass die sog. „sekundäre Zuckung vom Nerven aus", ebenso der „sekundäre Tetanus vom Nerven aus" auf den Elektrotonus (wir dürfen jetzt sagen den anelektrotonischen Strom), nicht auf die negative Schwankung zurückzuführen ist, besondere Fälle ausgenommen, in welchen unter besonderen Erregbarkeitsverhältnissen (Kaltfrösche Hering's) und wahrscheinlich auch bei geringer Grösse der in Betracht kommenden Abstände angeblich „echte" sekundäre Zuckung vom Nerven aus, d. h. veranlasst durch die negative Stromesschwankung des primären Nerven, erhalten wurde.

Das Ergebniss meiner Versuche mit zwei Kernleitern scheint mir aber sogar geeignet, eine recht plausible Erklärung der isolirten Nervenleitung in den einzelnen Fasern anzubahnen, insofern es berechtigt erscheint, das Wesen der Nervenleitung mit der Fortpflanzung einer galvanischen Phase zu identifiziren, welche Berechtigung am Schlusse der vorigen Veröffentlichung bereits im bejahenden Sinne besprochen wurde, und sogleich nochmals geprüft werden wird.

Ich habe noch hinzuzufügen, dass die Verwendung eines Bündels von Kernleitern — als Ganzes, ohne Abbiegung oder Abzweigungen — dieselben Resultate ergibt, wie man sie an einem einzelnen Kernleiter erhält, nur noch quantitativ verstärkt.

Endlich habe ich auch noch alle wichtigen Versuche, unter andern die Beobachtung der Negativitätswelle mit dem Rheotom am Platindrahtkernleiter von 4,5 m Länge, wiederholt unter Anwendung von Röhrenelektroden mit amalgamirtem Zink in Zinksulfatlösung und zugespitzten Pröpfen

aus Papiermasse, befeuchtet mit 0,6 % Kochsalzlösung — an Stelle der d'Arsonval'schen Chlorsilberelektroden: auch jetzt, mit diesen Elektroden geprüft, blieben alle Erscheinungen die gleichen, so dass auch in dieser Beziehung etwaige Bedenken und Einwände beseitigt erscheinen.

Hinsichtlich der Berechtigung, das Wesen der Nervenleitung auf die Kernleiter-Eigenschaft der Nervenfasern zurückzuführen, glaube ich noch folgendes bemerken zu sollen: Macht man die Annahme, dass die mit dem einen oder andern Ende einer peripherischen Nervenfaser verbundenen Erfolgsorgane auf die infolge des irgend eine Stelle der Faser treffenden, zunächst elektrischen „Reizes" sich in ihr, als Kernleitergebilde, fortpflanzende extrapolare galvanische Veränderung — Negativitätswelle — je nach ihrem Bau und ihrer Beschaffenheit in analoger Weise reagiren, wie die mit Kernleiter oder Nerv an entfernter Stelle in Verbindung gebrachten Strom- oder Spannungsanzeiger — Galvanometer, Kapillarelektrometer — als gewissermassen „künstliche Erfolgsorgane": so würde die durch die elektrische Reizung bewirkte „Thätigkeit" oder „Aktion" der Nervenfaser in Nichts anderm gesucht zu werden brauchen, als eben in diesem ihr als Kernleiter zukommenden extrapolaren galvanischen Vorgang. Die nähere Begründung dieses Satzes erscheint sowohl durch länger bekannte Thatsachen, als auch durch die zahlreichen in meiner früheren und der vorliegenden Mittheilung enthaltenen Versuchsergebnisse hinlänglich gesichert.

Was nun die durch nicht elektrische, zunächst ebenfalls inadäquate Einwirkungen hervorgerufene „Thätigkeit" der Nervenfasern betrifft, so erscheint die Möglichkeit des Schlusses, dass, wie zu fordern ist, auch hierbei wieder nur jene von der gereizten Stelle aus auf Grund der Kernleiternatur der Faser sich fortpflanzende galvanische Veränderung das Wesen der „Thätigkeit" ausmache, dadurch angebahnt, dass, wie früher mitgetheilt, ein künstlicher Kernleiter ebenfalls auf eine an beschränkter Stelle ihn treffende, zunächst rein mechanische Einwirkung — Durchbruch oder Durchschneidung — dieselbe von dieser Stelle aus sich fortpflanzende galvanische Erscheinung zeigt, wie sie durch eine elektrische Einwirkung in Gang gesetzt wird. Denn mag auch der beim Durchbrechen des künstlichen Kernleiters an

Ort und Stelle erzeugte Vorgang seinem Wesen nach völlig verschieden sein von demjenigen, welchen Schnitt oder Druck an der getroffenen Stelle des Nerven bewirkt, mag es z. B. am Drahtkernleiter sich um Benetzen, „Eintauchen“ einer frischen Metallbruchfläche handeln, so bleibt doch das hier offenbar allein den Ausschlag gebende Moment bestehen, dass in beiden Gebilden, Kernleiter und Nerv, die lokale, zunächst nicht elektrische Einwirkung, der „Reiz“, jenen „extrapolar“ sich fortpflanzenden Prozess bewirkt, durch welchen an ferner Stelle angebrachte Erfolgsorgane beeinflusst werden können. Hervorzuheben ist allerdings, dass bis jetzt nur diese eine, einem nichtelektrischen Nervenreize entsprechende Behandlung des künstlichen Kernleiters, nämlich der der Durchschneidung entsprechende Durchbruch, untersucht wurde, und dass hier weitere Versuche, namentlich an gegeeigneten nicht metallischen Kernleitern, nothwendig sind. Wenn es sich dann herausgestellt haben wird, dass bei jeder Art, die „Thätigkeit“ des Nerven auf inadäquate Weise hervorzurufen, die Kernleiter-Eigenschaft, und nur diese, in Frage zu kommen braucht, so wird alsdann über das Wesen auch des auf adäquate Weise in Gang gesetzten Nervenprozesses kein Zweifel bestehen können, insofern derselbe ja durch die gleiche galvanische Wirkung wie der auf inadäquate Weise in Gang gesetzte an „künstlichen Erfolgsorganen“ — Beobachtungsinstrumenten — nach aussen hin zum Ausdruck kommt.

(Aus dem physiologischen Institut der ehemaligen Universität Dorpat.)

Zur quantitativen Blutanalyse nebst einer Antwort an Herrn M. Bleibtreu in Bonn in Betreff der Wasseraufnahmefähigkeit der rothen Blutkörperchen.

Von

Dr. med. **Th. Lackschewitz.**

Seit einer Reihe von Jahren wurden im physiologischen Institut der Dorpater Universität Blutanalysen nach einer Methode ausgeführt, welche auf Anregung und unter Leitung Alexander Schmidt's durch seine Schüler ausgearbeitet worden ist. Warum man sich nicht einer anderen, der allgemein gebräuchlichen und anerkannten Methoden, — wie der von Hoppe-Seyler angegebenen bediente, hat verschiedene Gründe. Zunächst muss hervorgehoben werden, dass im Prinzip kein wesentlicher Unterschied zwischen denselben besteht: beide suchen nicht etwa direct den Gehalt an körperlichen Elementen oder letztere selbst in ihrer ursprünglichen Zusammensetzung zu bestimmen, sondern auf dem Wege des mathemathischen Kalküle's mit Hülfe einzelner bestimmbarer Blutbestandtheile — des Eiweisses resp. des Gesammttrockenrückstandes — dasselbe Ziel zu erreichen.

Die Bunge'sche Methode[1]) kann nur bei gewissen Blutarten Verwendung finden, da die Hauptbedingung — das Fehlen der Natronsalze in den Blutkörperchen — nicht bei allen Thierarten zutrifft, zumal beim Hunde, dessen man sich doch am meisten beim Thierexperiment bedient.

Ein weiterer Factor, welcher namentlich bei Untersuchungen über innerhalb des Organismus auftretende Blutveränderungen sehr in das Gewicht fällt, ist das zu einer Analyse nothwendige Blutquantum und endlich die Zeit.

---

1) G. Bunge, Lehrbuch der physiologischen u. pathologischen Chemie. Leipzig 1887. pag. 216.

In dieser Beziehung leistet die Schmidt'sche Methode entschieden Hervorragendes: schon 20 ccm Blut genügen um sichere Resultate zu erzielen. Ich bin im Stande gewesen im Laufe eines Tages vier Blutproben gleichzeitig soweit zu verarbeiten, dass sämmtliche Trockenrückstände in das Heissluftbad gebracht werden konnten, am darauffolgenden Tage also nur noch die Salzbestimmungen ausgeführt werden mussten.

Ob dasselbe bei Anwendung einer der anderen Methoden möglich ist, ist mir unbekannt. Den Beweis, dass eine quantitative Analyse mit einer so geringen Menge Blutes ausgeführt werden kann, hat sie als erste gebracht.

Eine jede Methode der Blutanalyse wird zu um so sichereren Ergebnissen führen, je mehr Erfahrungen in ihr gemacht sind, je genauer man ihre Leistungsfähigkeit zu beurtheilen im Stande ist.

Absolut richtige Werthe giebt keine Methode, eine jede hat ihre constanten und zufälligen Fehlerquellen; erstere aber kommen weniger in Betracht, wo es sich um Verhältnisse handelt, respective um Aenderungen in diesen Verhältnissen, letztere werden um so kleiner ausfallen oder um so seltener vorkommen, je grösser die Erfahrung und Uebung in der Ausführung der Analyse ist.

Nachdem jetzt ein Decennium seit der ersten Veröffentlichung der Methode verflossen ist und in dieser Zeit Hunderte von Untersuchungen nach ihr ausgeführt worden sind, dürfte es wohl am Platze sein eine genauere Beschreibung ihrer Ausführung sowie eine Kritik ihrer Vorzüge und Fehler weiteren Kreisen zugänglich zu machen.

Das Princip der Methode, ihre practische Ausführung und ihre constanten Fehler sollen in Folgendem besprochen werden. Wenn dieses in etwas knapper Form geschieht, so soll dadurch eine allzuhäufige Wiederholung vermieden werden. Der Fachmann findet das Ausführlichere in den Arbeiten von A. Sommer [1]), E. v. Göttschel [2]), F. Kupffer [3]) und Heinrich Arronet [4]).

1) A. Sommer, Zur Methodik der quantitativen Blutanalyse. Dissert. Dorpat 1883.

2) E. v. Göttschel, Vergleichende Analyse des Blutes gesunder und septisch inficirter Schafe. Dissert. Dorpat 1883.

3) F. Kupffer, Analyse septisch inficirten Hundeblutes. Diss. Dorpat 1884.

4) H. Arronet, Quantitative Analyse des Menschenblutes nebst Untersuchungen zur Controlle und Vervollständigung der Methode. Diss. Dorpat 1887.

Zum Schluss komme ich auf einen Angriff zurück, welchen die Methode und die mittelst derselben gewonnenen Resultate erfahren haben. Wenn meine „Antwort" auf die „Erwiderung" des Herrn M. Bleibtreu so spät erscheint, so hat das seinen Grund in äusseren Umständen. Meine im Anschluss daran vorgenommenen Versuche sind sämmtlich schon im Mai vorigen Jahres beendigt worden, das Manuscript dieser Arbeit hat nun bald ein Jahr druckfertig gelegen. Seine Veröffentlichung sollte gleichzeitig mit derjenigen des zweiten Theiles der Blutlehre Alexander Schmidt's erfolgen. Der Tod hat dem unermüdlich Forschenden die Feder aus der Hand genommen.

In tiefer Dankbarkeit gedenke ich des lebendigen Interesses und der vielfachen Anregung, die mir von seiner Seite zu Theil geworden.

Der Gedanke die Menge respective das Volumen der körperlichen Elemente des Blutes direct zu bestimmen ist nach einer Reihe missglückter Versuche aufgegeben worden. Durch den Process der Befreiung der Blutkörperchen von der Zwischenflüssigkeit werden dieselben verändert und zwar in ihrem inconstantesten Theil — dem Wassergehalt.

Sommer hat gleichfalls noch versucht die Concentration der rothen Blutkörperchen zur Grundlage seiner Rechnung zu machen, musste aber aus demselben Grunde davon abstehen. Wir müssen also suchen solche Bestandtheile der Blutkörperchen zum Ausgangspunct unserer Rechnung zu machen, von welchen wir wissen, dass sie nicht durch den Vorgang der Isolirung verändert werden. Es sind das die festen Bestandtheile, entweder in ihrer Gesammtheit, welche bei der Schmidt'schen Methode in Betracht kommt, oder ein bestimmter Theil derselben z. B. die Eiweissstoffe nach Hoppe-Seyler. Aus dem Verhältnisse, in welchem sich die Trockenrückstände resp. das Eiweiss im Gesammtblut, im Serum und in den körperlichen Elementen eines bestimmten Blutquantums finden, können wir dann durch folgende Proportion die Zusammensetzung des ursprünglichen Blutes ermitteln:

Es verhalten sich die Gewichtsmengen desselben Serums proportional ihren Trockenrückständen; daher ist das Verhältniss von 100 Serumeinheiten zu dem in 100 Bluteinheiten enthaltenen Serum gleich dem Verhältniss der dazu gehörigen Trockenrückstände.

Der Trockenrückstand des Serums in 100 Theilen Blut ist aber gleich dem Trockenrückstand des letzteren verringert um den Trockenrückstand der darin enthaltenen Blutkörperchen. Bezeichnen wir die in der Proportion vorkommenden Werthe mit folgenden Ziffern:

1. Gewicht des Trockenrückstandes von 100 Theilen Blut $= T$.
2. Gewicht des Trockenrückstandes von 100 Theilen Serum $= t$.
3. Gewicht des Trockenrückstandes der in 100 Theilen Blut enthaltenen Blutkörperchen $= r$.
4. Gewichtsmenge des in 100 Theilen Blut enthaltenen Serums $= s$.
5. Gewichtsmenge der in 100 Theilen Blut enthaltenen Blutkörperchen $= b$.
6. Gewicht des Trockenrückstandes von 100 Gewichtstheilen feuchter Blutkörperchen $= R$.

So haben wir nach dem oben Gesagten folgende Proportion:

$$100 : s = t : T - r.$$

Da wir die Werthe T, t und r direct bestimmen, so ist damit s gegeben.

$$= \frac{100\,(T - r)}{t}$$

$$b = 100 - s.$$

Endlich R, die Concentration der rothen Blutkörperchen $= \frac{100\,r}{b}$

Bei fast allen im hiesigen physiologischen Institut ausgeführten Analysen sind ausser diesen Werthen noch die Extinctionscoefficienten mittelst des Spectrophotometers von Hüfner bestimmt worden. Stände uns ein sicherer Werth für das Absorptionsverhältniss zur Verfügung, so wäre damit die Möglichkeit gegeben

die Haemoglobinmenge in 100 Theilen Blut $= h$

die Haemoglobinmenge in 100 Theilen feuchter Blutkörperchen $= H$

und endlich die Menge der sonstigen festen Bestandtheile (Salze, Stroma etc.) in 100 Theilen feuchter Blutkörperchen $= \sigma$ zu bestimmen.

Bezeichnen wir mit A das Absorptionsverhältniss, mit v die Verdünnungszahl der Blutlösung, für welche $\varepsilon =$ der Extinctionscoefficient ermittelt wurde und die constant 100 ist, da die Lösung immer auf 1 % reducirt wurde, so erhalten wir:

für $h = A . \varepsilon . 100$

für $H = \frac{h . 100}{b}$

für $\sigma = R - H.$

Nun haben aber F. Kupffer[1]) und F. Krüger[2]) gezeigt, dass das Absorptionsverhältniss des Haemoglobins mit jedesmaligem Umkrystallisiren desselben sich ändert. Es ist daher sehr wahrscheinlich, dass schon die Reindarstellung — also eine einmalige Krystallisation genügt, um den Werth für A zu ändern, mit einem Wort, wir sind überhaupt nicht im Stande, das Absorptionsverhältniss des Haemoglobins wie es sich im Blute findet, genau zu bestimmen.

Trotzdem können wir sehr wohl für das Absorptionsverhältniss eine der gefundenen Zahlen annehmen: wir erhalten dann für den Stroma- und Haemoglobingehalt keine genauen, sondern mit einem constanten Fehler behaftete Werthe. Dieses kommt aber weniger in Betracht, wo es sich darum handelt Aenderungen im Verhältnisse dieser beiden Bestandtheile zum Ausdruck zu bringen.

Die Trockenrückstände des Gesammtblutes und Serums sind einfach zu ermitteln. Das Hauptgewicht liegt in der Frage: können wir die Blutkörperchen durch Waschen von allen Serumbestandtheilen trennen, ohne ihnen gleichzeitig Substanzen zu entziehen, welche einen Trockenrückstand geben?

Das erfordert eine Waschflüssigkeit, die dieser Anforderung genügt. Was die Eiweisskörper der Blutkörperchen anbetrifft, so würden sich eventuelle Verluste wohl wahrscheinlich zunächst im Haemoglobingehalt geltend machen. Dieses liesse sich aber leicht spectroscopisch in der Waschflüssigkeit nachweisen.

Nun haben vielfache Versuche gezeigt, dass eine 2 bis $2^1/_2$ % Lösung von schwefelsaurem Natrium jedenfalls das Haemoglobin der Blutkörperchen nicht löst — mit Ausnahme von seltenen Fällen, die, wie ich gleich erwähnen will, krankes Blut betreffen. Die intensive Färbekraft des Haemoglobin's zeigt uns aber in jedem solchen Fall, dass hier eine Grundbedingung der Methode nicht zutrifft, die Resultste der Analyse also fehlerhaft sind.

1) F. Kupffer, l. c. pag. 40.

2) F. Krüger, Beobachtungen über die Absorption des Lichtes durch Oxyhämoglobin. Archiv für Biologie 1887. Juniheft.

Wo wir Austritt von Haemoglobin in die Waschflüssigkeit nicht beobachten, ist es höchst wahrscheinlich, dass auch die anderen schwerer löslichen Eiweissstoffe nicht den Blutzellen entzogen werden.

In dieser Beziehung gleichwerthig ist eine $1^1/_2$ bis 3procentige Kochsalzlösung wie sie Hoppe-Seyler anwendet. Dieselbe kann aber nicht gebraucht werden, wenn wir die Gesammttrockenrückstände der Blutkörperchen bestimmen wollen. Die zwischen den körperlichen Elementen aus der Waschflüssigkeit stammende Salzmenge muss bei unserer Rechnung in Abzug gebracht werden als eine fremde, den Trockenrückstand erhöhende Grösse. Damit dieses möglich ist muss aber das Salz der Waschflüssigkeit auch qualitativ den Blutzellen fremd sein. Nun enthalten aber alle bisher darauf untersuchten Blutkörperchen Chlorsalze, wogegen schwefelsaure Salze nur in unwägbaren Spuren vorhanden sind.

Verluste an Haemoglobin und wahrscheinlich anderen Eiweissstoffen treten also bei Anwendung einer Natriumsulfatlösung nicht ein. Wie verhält es sich nun mit den Salzen, besonders den leicht löslichen?

Dieser Frage ist Arronet im zweiten Theil seiner Arbeit nähergetreten. Dass nicht etwa alle Salze in die Waschflüssigkeit übertreten, hatte schon Sommer[1]) erkannt, der in dem Blutkörperchenbrei Chlor und Phosphorsäure in „beträchtlicher Menge“ nachwies. Es konnte sich somit nur um einen gewissen Theil derselben handeln. Arronet bestimmte nun den Chlorgehalt des Blutes, des Serums, der gewaschenen Blutkörperchen und solcher, die er durch Senkung erhalten hatte. Dabei fand er, dass ein grosser Theil der Chloride durch den Prozess der Isolirung den Blutkörperchen verloren geht, den er auch in der gesammelten Waschflüssigkeit nachweisen konnte. Anders verhält es sich mit den unlöslichen Aschenbestandtheilen, die durch die Behandlung mit Natriumsulfatlösung nicht tangirt werden.

Auf Grund seiner Untersuchungen kommt er zu folgenden Schlüssen, die ich hier wörtlich citire[2]):

1. Beim Waschen der Blutkörperchen mit Natriumsulfatlösung in der angegebenen Concentration geben sie ihrem Gehalt an Chloriden fast gänzlich an die Waschflüssigkeit ab. Der Werth fällt *r* also um diesen Verlust zu klein aus.

---

1) A. Sommer, a. a. O., pag. 15.

2) H. Arronet, a. a. O., pag. 58.

2. Dieser Verlust bringt es mit sich, dass das aus dem Werthe r und den zuverlässig bestimmten Werthen T und t berechnete Blutkörperchenprocent um 1,5 bis 2 % zu niedrig ausfällt.
3. Die unlöslichen Aschenbestandtheile der Blutkörperchen erleiden beim Waschen keine Verluste.
4. Es ist wenig wahrscheinlich, dass die Blutkörperchen beim Waschen mit Glaubersalzlösung Verluste an Eiweiss und anderen organischen Substanzen erleiden.

Da man nun annehmen kann, dass auch andere lösliche Salze der Blutkörperchen in die Wasserflüssigkeit übertreten, deren Menge aber im Vergleich zu derjenigen der Chloride sehr gering ist, so wird der Werth, um welchen r zu klein ausfällt, wohl noch ein wenig grösser sein. Nach Arronet müssen wir daher nicht 1,5 bis 2, sondern ungefähr 2 bis 2,5 % zu b — dem Blutkörperchenprocent — hinzu addiren.

Dieser Salzverlust der Blutkörperchen ist also ein constanter Fehler. Seine Correction, wie sie Arronet angegeben hat, ist von den späteren Untersuchern nicht ausgeführt worden. Ohne genaue Salzbestimmung konnte sie nur eine ungefähre sein, da sowohl der Gehalt der Blutkörperchen an Salzen als auch der eintretende Verlust variable Grössen sind, wenn es auch wahrscheinlich ist, dass dieselben nur innerhalb enger Grenzen schwanken.

Wie uns das specifische Gewicht des Gesammtblutes und des Serums eine Controlle für die Richtigkeit ihrer Trockenrückstände bietet, so haben wir im Extinctionscoefficienten eine solche für den Werth r — den Trockenrückstand der in 100 Bluteinheiten enthaltenen Körperchen. Aenderungen in letzterem werden in gleichem Sinne am Extinctionscoefficienten zu Tage treten, da von den Festsubstanzen der körperlichen Elemente das Haemoglobin den Hauptbestandtheil ausmacht. Die Bedeutung dieser Controlle ist eine um so grössere, als es zwei von einander ganz unabhängige Bestimmungen sind, die wir mit einander vergleichen können.

Näher auf die Art und Weise wie der Extinctionscoefficient ermittelt wurde einzugehen, gehört nicht hierher.

Ausser in den oben angeführten Dissertationen findet man Genaueres darüber bei Hüfner: Journal für practische Chemie N. F. Bd. 16. 1877. Nur soviel will ich bemerken, dass die Einstellung des Apparates bei allen Untersuchungen, welche seit

1887 mit demselben vorgenommen wurden, dieselbe war wie sie F. Krüger[1]) angegeben hat.

Zum Schlusse bleiben noch einige Bemerkungen über die praktische Ausführung einer Analyse nach dieser Methode übrig. Auch hier will ich versuchen nur die Hauptpunkte zu betonen. Die theoretische Erörterung praktischer kleiner Handgriffe und Modificationen ist überflüssig. Dieselben wird jeder Untersucher durch eigene Erfahrung sich aneignen resp. soweit es möglich ist, ändern.

Das Hauptgewicht bei allen Gewichtsbestimmungen liegt natürlich in den Wägungen. Je genauer die gebrauchte Waage arbeitet, um so kleiner können die Blutquantitäten sein, mit welchen wir operiren. Die dem hiesigen physiologischen Institut gehörige Westphalsche Waage giebt Gewichtsdifferenzen von Decimilligrammen mit grosser Pünktlichkeit an; mit ihr sind die meisten Wägungen vorgenommen worden.

Dass eine sorgfältige Vorbereitung sämmtlicher zum Gebrauch kommender Gefässe und Tiegel eine nothwendige Vorbedingung ist, brauche ich wohl nicht zu betonen. Alle Glasgefässe, Pipetten etc. müssen mit destillirtem Wasser gewaschen, mit Alcohol und Aether ausgespült werden bevor sie getrocknet und gewogen werden, und zwar muss dieses vor jedem Versuch von neuem geschehen.

Zu den Trockenrückstands-Bestimmungen sind anfangs immer Platintiegel angewandt worden. In der Folge hat es sich gezeigt, dass kleine emaillirte Porzellantiegel mit dazu gehörigem Deckel vollständig genügen. Sie zeigen, gehörig getrocknet, ein absolut konstantes Gewicht. Zur Bestimmung des Werthes r habe ich dennoch Platintigel angewandt, um möglichst jeden Fehler ausschliessen zu können. Dasselbe gilt natürlich auch für etwaige Salzbestimmungen, wo ein stärkeres Erhitzen resp. Glühen in Betracht kommt.

Vordem man die zur Bestimmung von T und r — dem Trockenrückstand des Gesammtblutes und demjenigen der in 100 Theilen Blut enthaltenen reinen Blutkörperchen — dienenden Mengen dem Blute entnimmt, muss letzteres gehörig umgerührt werden, um eine gleichmässige Vertheilung seiner Körperchen herbeizuführen. Es ist dieses um so nothwendiger, als mir Fälle vorgekommen sind,

1) F. Krüger, Beobachtungen über die Absorption etc. Zeitschrift f. Biologie. Neue Folge. Bd. VI, pag. 47.

wo die Senkung der Blutkörperchen binnen kürzester Zeit — innerhalb einer Minute — erfolgte.

Zwei bis drei Gramm Blut und eben so viel Serum genügen zur Bestimmung ihrer Trockenrückstände. Das Letztere wird durch Centrifugiren von circa 10 ccm Blut in einem schmalen Reagensglase gewonnen. Diese im Tigel gewogenen Quantitäten kommen für einige Stunden auf das Dampfbad und darauf in das Heissluftbad, wo sie bei einer Temperatur, die zwischen 105 und 115 Grad Cels. schwankt, getrocknet werden.

Die Blutmenge, deren Körperchen isolirt und reingewaschen werden sollen, beträgt 4 bis 6 Gramm. Dieselbe wird in gewogenem Glasgefäss bestimmt, darauf mittelst der Natriumsulfatlösung vollständig in das Cylinderglas der Centrifuge hinübergespült und durchgerührt. Wo es sich um eine so geringe Blutmenge handelt, reicht eine kleine Handcentrifuge mit 4 Gläsern, deren jedes ungefähr 60 ccm fasst, vollständig aus.

Nach dreistündigem Centrifugiren haben sich die Blutkörperchen als scharlachrother Bodensatz von der sie umspülenden Flüssigkeit (Natriumsulfatlösung + Serum) getrennt. Die leicht gelbliche Färbung der letzteren rührt vom Serumfarbstoff her. Nun wird die Waschflüssigkeit vorsichtig abgegossen, durch eine frische Quantität ersetzt und der Blutkörperchenbodensatz durch Umrühren gleichmässig in derselben vertheilt. Nachdem wieder 3 Stunden lang centrifugirt worden ist, wird nochmals die Waschflüssigkeit gewechselt und centrifugirt.

Unter der Annahme, dass etwa 3 Gramm von den dazu verwendeten 5 Gramm Blut dem Serum angehören, lässt sich leicht berechnen, dass nach dreimaligem Wechseln der Natriumsulfatlösung die zwischen den Blutkörperchen befindliche Flüssigkeit nur noch etwa $^1/_{9000}$ vom ursprünglichen Serum enthalten kann, eine Quantität, deren Trockenrückstand nicht mehr in Betracht kommt.

Der nach dem Abgiessen der zuletzt gebrauchten Waschflüssigkeit zurückbleibende Blutkörperchenbrei wird mit destillirtem Wasser versetzt. Es lösen sich nun die Blutkörperchen, und von der so erhaltenen gewogenen Lösung wird ein Theil zur Bestimmung des Trockenrückstandes der gereinigten Blutkörperchen verwandt.

Der Rest der Blutkörperchenlösung, dessen Gewicht sich aus der Differenz der Gesammtmenge und der zur Bestimmung des Trockenrückstandes verwandten Quantität ergiebt, dient zur Fest-

stellung der Na_2SO_4-Menge, um deren Gewicht der Rückstand zu hoch ausfallen muss. Derselbe wird mit destillirtem Wasser in eine Porzellanschale gespült, seine Eiweissstoffe nach Zusatz einiger Tropfen verdünnter Essigsäure auf dem Dampfbade coagulirt und nun filtrirt. Das farblose Filtrat, in welches sämmtliches Salz mit destillirtem Wasser aus dem Coagulum ausgewaschen sein muss, wird auf ein kleineres Volumen eingedampft. Durch Zusatz einer genügenden Menge gesättigter Chlorbaryumlösung zu demselben wird sämmtliche Schwefelsäure als Baryumsulfat ausgefällt, letzteres nach 12stündigem Digeriren auf einem aschenfreien Filter gesammelt und getrocknet. Baryumsulfat und Filter werden endlich im Platintiegel verascht und gewogen. Aus dem Gewicht desselben (d. h. des $BaSO_4$) lässt sich nun dasjenige des Na_2SO_4 berechnen.

Haben wir so den Salzgehalt dieses Theiles der Blutkörperchenlösung ermittelt, so können wir durch eine einfache Proportionsrechnung auch denjenigen berechnen, welcher dem anderen zur Trockenrückstandsbestimmung dienenden Theile zukommt und ebenso die Menge des Blutes, dessen feste Blutkörperchenbestandtheile in ihm enthalten sind. Der gefundene Trockenrückstand, verringert um das Gewicht des darin enthaltenen Salzes, gehört also den Blutkörperchen einer bekannten Blutmenge an. Führen wir diese auf 100 zurück, so erhalten wir r, den Trockenrückstand der in 100 Theilen Blut enthaltenen Blutkörperchen.

Als ein Beispiel dieser Rechnung mögen die in Folgendem gegebenen Pferdeblutanalysen dienen.

Das Trocknen der Rückstände muss durchschnittlich 6—8 Tage dauern. Ich habe meist am 5. Tage mit den Wägungen angefangen und dieselben an den folgenden 3 oder 4 Tagen wiederholt. In den meisten Fällen zeigt sich dann ein constantes Gewicht; ist dieses noch nicht der Fall, so muss natürlich der Trockenprocess fortgesetzt werden. Die Abkühlung der Rückstände vor den Wägungen muss über Schwefelsäure und Chlorkalk unter der gutschliessenden Glasglocke stattfinden. Ebenso ist darauf zu achten, dass dieselbe eine vollständige ist und die Wägungen möglichst schnell von Statten gehen.

Wie aus diesen Auseinandersetzungen hervorgeht, sind es nicht allzuviel Hilfsmittel, deren wir zur Ausführung einer Blutanalyse nach dieser Methode bedürfen.

Ihrer Einführung in das Laboratorium des Klinikers steht

weder eine zu grosse Umständlichkeit des Verfahrens, noch eine zu grosse Kostspieligkeit der Apparate im Wege.

Sie ist daher wohl im Stande, eine Lücke in der Reihe der klinischen Untersuchungsmethoden auszufüllen.

In Pflüger's Archiv für die gesammte Physiologie (Bd. 54) erschien im Anfang vorigen Jahres ein Aufsatze unter dem Titel: „Ueber die Wasseraufnahmefähigkeit der rothen Blutkörperchen." Eine Entgegnung auf die gleichnamige Abhandlung Th. Lackschewitz. Dieselbe bezieht sich auf meine im Mai 1892 erschienene Arbeit: „Ueber die Wasseraufnahmefähigkeit der rothen Blutkörperchen nebst einigen Analysen pathologischen Blutes. Dorpat. 1892." Der Verfasser, Dr. Max Bleibtreu in Bonn, kommt, nachdem er einen meiner Versuche einer Kritik unterzogen hat, zu dem Schlusse: „Da dieser eine Versuch ein unwahrscheinliches Resultat ergiebt, so sind auch alle die anderen falsch. Eine Fähigkeit der rothen Blutkörperchen, bei Verdünnung des Blutes mit physiologischer Kochsalzlösung Wasser aufzunehmen, existirt nicht, was schon durch eine frühere Arbeit der Herrn M. und L. Bleibtreu bewiesen sein soll.

Zunächst bedarf es einer Zurechtstellung. Die Aufgabe meiner Arbeit bestand darin, zu konstatiren, welchen Einfluss die intravasculäre Infusion 0,6 procentiger Kochsalzlösung auf das cirkulirende Blut ausübt. Der Versuch IV, welcher diesen Einfluss ausserhalb des Körpers feststellen sollte, ist nebenbei und nach den anderen Versuchen ausgeführt worden. Wäre ich von derselben Voraussetzung ausgegangen, wie M. Bleibtreu, welcher glaubt, dass nur durch ein positives Resultat dieses Versuches die Richtigkeit der anderen bewiesen oder doch wahrscheinlich gemacht würde, so hätte ich das Hauptgewicht auf diesen Versuch legen müssen. Vor allen Dingen hätte ich mit demselben beginnen und ihn wenigstens einige Male wiederholen müssen.

Unverständlich bleibt es mir, wenn Bleibtreu, p. 15, sagt: „Zu diesen Versuchen am lebenden Thiere habe ich zunächst zu bemerken, dass bei den vielen und oft ungeahnten Complicationen, welche im Gefässsysteme eines lebenden Thieres eintreten können, alle Schlüsse aus derartigen Versuchen zunächst nur mit dem grössten Vorbehalt gezogen werden dürfen; es kommt dabei der

Flüssigkeitsaustausch zwischen Blut und Geweben, die Wasserausscheidung durch die Nieren u. s. w. in Betracht, durch welche die Blutvertheilung im Gefässsystem in breiten Grenzen verändert werden kann." Ebenso p. 20: „Oder aber es treten in Folge der Injection Complicationen von Seiten des Organismus ein etc. etc., dann sind alle hinsichtlich der Wasseraufnahme durch die Blutkörperchen aus diesen Versuchen gezogenen Schlüsse unberechigt."

Wenn ich ein bestimmtes Blutquantum analysire und konstatire, dass von 100 Gewichtstheilen feuchter Blutkörperchen so und so viel auf den Wassergehalt kommt, so und so viel auf die Trockenrücksände, das zweite Mal nach Infusion von Kochsalzlösung ein zweites Blutquantum analysire und nun finde, dass der Wassergehalt in 100 Theilen feuchter Blutkörperchen um so und so viel gestiegen, der Trockenrückstand gesunken ist, so stelle ich zunächst das Factum fest: „die Blutkörperchen haben Wasser aufgenommen, wenn wir nicht das einzelne Körperchen, sondern die Gesammtheit derselben als Ganzes genommen betrachten. Einen Schluss ziehe ich erst, wenn ich dieses von jedem einzelnen Blutkörperchen annehme. Derselbe ist ebenso berechtigt wie derjenige, auf den Bleibtreu sich stützt, wenn er sagt „denn ganz gleichgiltig, ob die Blutkörperchen Wasser aufnehmen oder nicht, der Trockenrückstand jedes einzelnen Blutkörperchens wird dadurch nicht verändert" (p. 16).

Wenn wir eiue mittlere Concentration jedes einzelnen Blutkörperchens annehmen, so liegen nur drei Möglichkeiten vor 1) Entweder bleibt jedes einzelne unverändert. Dann bleibt es auch R, der Trockenrückstand von 100 Gewichtsheilen feuchter Blutkörperchen. Oder 2) es verliert jedes einzelne Wasser, wird also concentrirter, dann steigt R, oder endlich 3) es nimmt jedes einzelne Wasser auf, dann fällt der Werth für R.

Die Veränderungen durch „Complicationen von Seiten des Organismus" durch „unbekannte Einflüsse", vor welchen Bleibtreu warnt, sind es gerade, was wir feststellen wollen.

Welche Ueberlegung M. Bleibtreu hierbei geleitet hat weiss ich nicht. Doch vermuthe ich, dass er die Arbeiten von Cohnstein und Zuntz dabei im Sinne gehabt hat (Archiv für die gesammte Physiologie, 42. Bd., Heft 7 und 8, 1888). Durch dieselben ist bewiesen, dass die Vertheilung der körperlichen Ele-

mente in den verschiedenen Gefässterritorien zu derselben Zeit eine sehr verschiedene sein kann, wobei äussere und innere Einflüsse eine grosse Rolle spielen. Wir können nicht mit Sicherheit aus einer Blutprobe schliessen, dass das gesammte Körperblut dieselbe Zusammensetzung in Bezug auf Körperchen und Plasma hat, ebenso wenig durch Verdünnung des Blutes innerhalb des Körpers die Gesammtmenge desselben bestimmen, wie Valentin es will. Hier sind Stauungen, Flüssigkeitsaustausch zwischen Gewebe und Blut u. s. w., Faktoren, deren Wirkungen wir nicht genau feststellen können. Dieselben beeinflussen die Menge der körperlichen Elemente und des Plasmas, ebenso die Concentration beider. Daher würden wir zu absolut falschen Resultaten kommen, wenn wir etwa, wie Bleibtreu es thut (p. 19), aus der ersten Blutprobe berechnen wollten, wie viel Blutkörperchen in einer zweiten — nach Infusion von Kochsalzlösung — sein müssten.

Ich meine: Wir führen gerade deshalb quantitative Blutanalysen aus, weil wir wegen dieser Complicationen von Seiten des Organismus nicht im Stande sind, etwaige Aenderungen zu berechnen.

Die Thatsache, dass die Concentration der rothen Blutkörperchen Schwankungen unterliegt, ist längst bekannt und findet sich in jedem Lehrbuche der Physiologie angeführt. Sie als Constante in eine Formel zu bringen und zu sogenannten „abgekürzten Methoden" zu gebrauchen, wie es M. und L. Bleibtreu[1]) proponirt haben, ist daher sehr gewagt.

Unter den gleichen Lebensbedingungen — ich möchte fast sagen, in demselben Stoffwechselzustand — desselben Thieres mag die Concentration annähernd die gleiche bleiben. Wenn aber Hunger und Durst, Wasseraufnahme u. s. w. in so hohem Maasse im Stande sind, diese Concentration zu verändern, wie es erst kürzlich wieder nachgewiesen ist[2]), so ist es entschieden rathsam, von dergleichen Methoden überhaupt abzusehen.

Wie wenig berechtigt die Einwände sind, welche sich gegen die Resultate meiner Infusionsversuche richten, ergiebt sich aus dem Angeführten, zumal M. Bleibtreu sich nicht einmal der

---

1) Archiv für gesammte Physiologie, Bd. 51. Heft III, IV, V., pag. 188.

2) P. Lackschewitz, Ueber die Zusammensetzung des Blutes hungernder und durstender Thiere. Dissert. Dorpat. 1893.

Mühe unterzogen hat, auch nur einen derartigen Versuch zu wiederholen.

Seinen Angriff richtet er gegen den Werth r, den Trockenrückstand der in 100 Gewichtstheilen Blut enthaltenen rothen Blutkörperchen, von welchem er behauptet, dass derselbe zu gross ausfalle. Bei der Beschreibung der Methode habe ich schon die Gründe angeführt, die uns immer nur Verluste von festen Substanzen bei Isolirung der rothen Blutkörperchen befürchten lassen — woher r zu klein ausfallen würde, was auch factisch durch den Austritt der löslichen Salze in die Waschflüssigkeit geschieht. Ich begnüge mich daher mit diesem Hinweis auf das oben Gesagte und will nur bemerken, dass M. Bleibtreu nicht einmal versucht, eine Erklärung zu geben, woher der Werth r zu gross ausfallen könnte.

Auch ohne diesen Werth direkt zu bestimmen, können wir eine Wasseraufnahme von Seiten der rothen Blutkörperchen allein schon aus den Werthen T und t, dem procentischen Rückstand des Gesammtblutes und Serums erkennen. Bliebe die Gesammtmenge der zugeführten Flüssigkeit im Serum resp. Plasma, so müsste dessen Verdünnung eine höhere sein, als die des Blutes. Ist das nicht der Fall, so sind zwei Möglichkeiten vorhanden. Entweder nehmen die Blutkörperchen einen Theil der Flüssigkeit auf, d. h. sie quellen, oder das stark verdünnte und in seiner Gesammtheit vermehrte Serum erhält von Seiten der Gewebe eine Menge fester Substanzen. Letzteres ist in so hohem Grade und in der kurzen Zeit, welche zwischen der Infusion und der zweiten Blutabnahme liegt, wohl nicht möglich. Gleichzeitig müsste der Ueberschuss von Flüssigkeit, welche wir infundirten, während dieser Zeit im Serum zurückgehalten werden. Das ist aber nach den Gesetzen der Diffusion undenkbar.

Ich gebe in Folgendem die Werthe für T und t, wie sie Kröger[1]) und ich bei unseren Infusions- und Aderlassversuchen gefunden haben.

---

1) In Alex. Schmids Arbeit „Zur Blutlehre“ liegt pag. 243 ein Druckfehler vor. Es muss daselbst heissen Kröger statt Krüger. Ersterer hat seine Untersuchungen in einer Dissertation veröffentlicht unter dem Titel: Ein Beitrag zur Physiologie des Blutes von Sigismund Kröger. Dorpat 1892.

Infusionsversuche.

No.		T = Trockenrückstand von 100 Th. Blut		t = Trockenrückstand von 100 Th. Serum	
		vor der Infusion	nach der Infusion	vor der Infusion	nach der Infusion
1	Kröger, Versuch V, Katze	19,786	17,682	8,376	8,113
2	Kröger, Versuch VI, Katze	19,05	15,79	9,797	8,342
3	Lackschewitz, Versuch I, Katze	18,294	15,417	8,974	7,927
4	„ Versuch II, Katze	19,578	17,269	8,976	8,001
5	„ Versuch III, Mensch.	17,529	15,276	7,869	7,245

Aderlassversuche.

No.		T = Trockenrückstand von 100 Th. Blut		t = Trockenrückstand von 100 Th. Serum	
		I. Blutprobe	II. Blutprobe nach dem Aderlass	I. Blutprobe	II. Blutprobe nach dem Aderlass
1	Kröger, Versuch III, Katze	18,54	17,82	8,53	8,194
2	„ Versuch IV, Katze	20,381	19,286	7,013	7,036
3	Lackschewitz, Versuch IV, Katze	20,918	18,890	8,219	7,558
4	„ „ „ „ Neuer Versuch. Das Nähere siehe unten.	23,890	21,380	8,316	7,426

Diese Werthe zeigen uns, dass das Gesammtblut stärker verdünnt worden ist, als das Serum. Bliebe die zugeführte Flüssigkeitsmenge in letzterem, so müsste es — als ein Bruchtheil des Gesammtblutes — die stärkere Verdünnung zeigen. Um diese Thatsache anschaulicher zu machen, gebe ich folgende kleine Tabelle, in welcher die ursprünglichen Concentrationen, d. h. die ursprünglichen Trockenrückstandsprocente gleich 100 gesetzt sind:

Infusionsversuche

No.	T vor d. Infusion	T nach d. Infusion	t vor d. Infusion	t nach d. Infusion	$y-x$
	wie 100 : x		wie 100 : y		
1	100	: 89,37	100	: 96,86	+7,49
2	100	: 81,82	100	: 85,15	+3,33
3	100	: 84,27	100	: 88,33	+4,06
4	100	: 88,21	100	: 89,14	+0,93
5	100	: 87,15	100	: 92,07	+4,92

Aderlassversuche.

No.	T der I. Blutprobe	T d. II. Blutprobe	t der I. Blutprobe	t d. II. Blutprobe	$y-x$
	wie 100 : x		wie 100 : y		
1	100	: 96,12	100 :	94,89	—1,23
2	100	: 94,63	100 :	100,33	+5,70
3	100	: 90,31	100 :	91,96	+1,65
4	100	: 91,41	100 :	89,30	—2,11

Man ersieht aus ihr, dass in den fünf Infusionsversuchen die Verdünnung des Serums immer um ein Beträchtliches hinter derjenigen des Blutes zurückbleibt. Bei den Aderlassversuchen findet dasselbe in Nr. 2 und 3 statt. Nr. 1 und 4 zeigen das entgegengegengesetzte Verhalten: hier ist die Verdünnung des Serums eine höhere. Daher können wir vermuthen, dass in diesen Fällen eine Wasseraufnahme von Seiten der Blutkörperchen nicht stattgefunden hat. Für den Fall 4 wird diese Vermuthung durch die Analyse bestätigt, in Betreff derer ich auf das weiter unten Folgende verweise.

Nur mit wenigen Worten möchte ich auf die Correction meiner Infusionsversuche eingehen, wie sie Bleibtreu auf p. 19 ausführt.

Nachdem er mehrfach betont hat, dass man eigentlich überhaupt keine Analysen bei solchen Experimenten machen dürfe, wegen der von Seiten des Organismus eintretenden Complicationen, lässt er plötzlich dieselben ganz ausser Acht und rechnet ohne Analyse vor, wie es hätte sein müssen.

Mit demselben Recht oder vielmehr Unrecht könnte ich, Bleibtreu's Methode und Formel benutzend, aus der Verdünnung des Blutes und Serums die erste Blutprobe analysiren. Ich mache dann dieselbe Voraussetzung wie Bleibtreu, dass sich nämlich das vor der Infusion im Thierkörper vorhandene Blut ohne weitere Complicationen in dem Maasse, wie es durch das Verhältniss von T_2 zu T_1 bestimmt werden kann, mit der injizirten Kochsalzlösung vermischt habe.

Wenn es sich dabei herausstellt, dass in 100 Gewichtstheilen Blut immer über 100 Gewichtstheile Serum enthalten sind, so müssen wir doch wohl zu der Ueberzeugung kommen,

dass eine Analyse innerhalb des Organismus ein Ding der Unmöglichkeit ist.

Der „sehr bedenkliche" Fall in Versuch III (conf. meine Arbeit), wo r_2 grösser wird als r_1 ist auffallend, aber nicht unbegreiflich.

Warum ich einen Fehler zugeben soll, nachdem ich durch zwei von einander unabhängige Methoden das Factum constatirt habe (quantitative Analyse und spectrophotometrische Haemoglobinbestimmung), sehe ich nicht ein.

Eine Erklärung dafür liegt nicht allzuferne: Entweder kam es in diesem Falle zu einer Stauung in den Wurzelgebieten der Unterarmvenen, wobei sich die gequollenen Blutkörperchen in den Capillaren ansammelten, während das Plasma in höherem Maasse abströmen konnte, oder es wurde durch die Infusion eine gewisse Menge von Blutkörperchen, die in anderen Körperregionen aufgestaut waren, in das circulirende Blut herübergespült.

Genau derselbe Fall ist auch schon beobachtet worden: ich verweise auf einen Aufsatz von H. Kronecker[1]), welcher fand, „dass in einzelnen Fällen nach Einspritzung der Kochsalzlösung das Blut garnicht verdünnt erschien (in Bezug auf Haemoglobingehalt). Ja einige Male ereignete sich der paradoxe Fall, dass nach der Transfusion der Kochsalzlösung durch die Carotis in die Aorta der Blutkörperchengehalt vermehrt war!"

In Betreff der Erklärung siehe die Arbeiten von Cohnstein und Zuntz[2]) und H. Kronecker.

Dass die Blutkörperchen intra corpus die Fähigkeit haben, eine verhältnissmässig grosse Menge Flüssigkeit in sich aufzunehmen — sei es nach intravasculärer Infusion physiologischer Kochsalzlösung, sei es nach einem stärkeren Aderlass, wobei das verlorene Blutquantum durch den Uebertritt von Gewebsflüssigkeit in die Blutbahn ersetzt wird, ist eine Thatsache. Dieselbe ist schon früheren Autoren bekannt gewesen; ich citire hier nur Landois[3])

---

1) H. Kronecker, Kritisches und Experimentelles über lebensrettende Infusionen von Kochsalzlösung bei Hunden. Correspondenzblatt f. Schweizer Aerzte. 1886.

2) J. Cohnstein und N. Zuntz, Untersuchungen über den Flüssigkeitsaustausch zwischen Blut und Geweben etc. Archiv f. die gesammte Physiologie, 42. Bd., Heft 7 u. 8, 1888.

3) L. Landois: Lehrbuch der Physiologie des Menschen. 1885. pag. 17.

und die mehrfach angeführte Arbeit von Cohnstein und Zuntz[1]). Letztere constatirten beim Kaninchen nach Injection einer 0,73% NaCl-lösung mikroskopisch eine starke Aufblähung der rothen Blutkörperchen.

Welches Verhalten zeigen sie nun ausserhalb des Organismus der physiologischen Kochsalzlösung gegenüber?

Wenn Bleibtreu darauf hinweist, dass eine beträchtliche Aufnahme von festen Substanzen ausser dem Wasser unwahrscheinlich ist, so hat er darin entschieden Recht und stimme ich ihm vollkommen bei.

Den Werth r_2, den Trockenrückstand des in 100 Gewichtstheilen verdünnten Blutes enthaltenen Blutkörperchen können wir ungefähr berechnen, sobald uns die Zusammensetzung des ursprünglichen Blutes sowie die Verdünnungszahl bekannt ist. Derselbe darf mit Hülfe der Analyse wohl nicht um so viel höher gefunden werden, wie es in meinem Versuch IV der Fall ist. Es muss daher in meinem Versuch IV ein Fehler vorliegen.

Liegt derselbe nun in der Methode?

Nach dem, was oben über die Ermittelung des Werthes r gesagt worden ist, erscheint es kaum möglich, dass derselbe zu gross ausfallen kann. Ich bin in der Lage gewesen, meine Versuchsprotocolle mehrmals prüfen zu können und es hat sich dabei herausgestellt, dass es sich um einen Rechenfehler handelt. Entschuldigen lässt er sich nicht, doch möchte ich nochmals betonen, dass der Versuch IV den Schluss meiner Experimente bildete und ich ihm weniger Bedeutung beilegte, nachdem die Thatsache der Wasseraufnahme seitens der rothen Blutkörperchen innerhalb des Körpers — die Aufgabe meiner Arbeit — hinreichend bestätigt war.

Es folgen nun die Versuchsprotocolle des Versuches IV aus meiner früheren Abhandlung, sowie die eines zweiten ganz analogen, der im April vorigen Jahres ausgeführt wurde.

Versuch IV.

(Aus meiner ersten Abhandlung.)

Defibrinirtes Blut.

3,0696 gr Blut gaben einen Trockenrückstand von 0,6421 gr, also 100 = 20,918 gr.

---

1) a. a. O., pag. 320.

1,9273 gr Serum gaben einen Trockenrückstand von 0,1584 gr,
also 100 = 8,219 gr.

4,3355 gr Blut wurden in das Cylinderglas der Centrifuge gespült und mit ca. 55 ccm einer 2 % Na_2SO_4-lösung verdünnt. Nach 3stündigem Centrifugiren wird die klare Waschflüssigkeit abgehoben und durch frische ersetzt. Gründliches Umrühren des Blutkörperchenbreies und darauf folgendes Centrifugiren. Nach weiteren 3 Stunden wird die Procedur nochmals vorgenommen. Die gereinigten Blutkörperchen dieser 4,3355 gr Blut werden in destillirtem Wasser gelöst, so dass das Gewicht der Blutkörperchenlösung 42,6880 gr ausmacht.

Davon werden 14,2612 gr zur Bestimmung des Trockenrückstandes verwandt, in dem sich also die gelösten Blutkörperchen von 1,4484 gr Blut befanden. Dieselben geben einen Trockenrückstand von 0,2611 gr, wovon ein gewisser Theil als nicht zugehöriges Salz (aus der Waschflüssigkeit) eliminirt werden muss. Im Rest der Blutkörperchenlösung von 28,4268 gr fand sich 0,0503 Na_2SO_4. Daher müssen in 14,2612 gr 0,0252 gr enthalten sein. Die Blutkörperchen von 1,4484 gr ursprünglichen Blutes geben also einen Trockenrückstand von 0,2611 minus 0,0252, d. h. 0,2359 gr. Die Blutkörperchen in 100 gr Blut enthalten demnach 16,287 gr Trockensubstanzen.

Resultat: T = 20,918.
t = 8,219.
r = 16,287.

s (Gewichtsmenge des Serums in 100 gr Blut) = 56,345.

b (Gewichtsmenge der Blutkörperchen in 100 gr Blut) = 43,655.

R (Trockenrückstand von 100 gr feuchter Blutkörperchen) = 37,308.

Ein Theil desselben Blutes wird mit ungefähr 12 % einer 0,6-procentigen Kochsalzlösung verdünnt, durchgerührt und analysirt.

2,0001 gr Blut gaben einen Trockenrückstand von 0,3665 gr,
100 gr verdünnten Blutes also 18,324 gr.

2,1823 gr Serum gaben einen Trockenrückstand von 0,1509 gr,
100 gr verdünnten Serums also 6,915 gr.

Die Blutkörperchen von 2,8835 gr Blut werden isolirt und gelöst. Ein Theil der Lösung wird zur Trockenrückstandsbestimmung verwandt, der zweite zur Bestimmung des Na_2SO_4 der Waschflüssigkeit.

15,5259 gr Blutkörperchenlösung, welche die Blutkörperchen von 1,3635 gr Blut enthält, gaben einen Trockenrückstand von 0,2168 gr. Davon gehörten 0,0302 gr zum Na_2SO_4 der Waschflüssigkeit.

Die Blutkörperchen von 100 gr verdünnten Blutes gaben demnach einen Trockenrückstand von 13,913 gr. (Nach Bleibtreu berechnet müsste er sein 14,207 gr. Es haben also im verdünnten Blut die Körperchen feste Substanzen an das Serum abgegeben.)

s die Gewichtsmenge des Serums in 100 gr verdünnten Blutes = 63,788 gr.

b die Gewichtsmenge der Blutkörperchen in 100 gr verdünnten Blutes = 36,212 gr.

R der Trockenrückstand der Blutkörperchen in 100 gr verdünnten Blutes = 38,421 gr.

Nach 40 Minuten wurde eine zweite Blutprobe der Katze entnommen. Die Analyse ergab Folgendes (conf. Dissertation):

T = 18,890
t = 7,558
r = 15,161
s = 49,338
b = 50,662
R = 29,926

Versuch im April 1893.

Ein Kater von 3500 gr Gewicht wird gefesselt und es werden nach Freipräparirung der Carotis aus derselben circa 41—50 ccm Blut entnommen und defibrinirt. Diese Blutmenge wird getheilt, der eine Theil direkt der Analyse unterworfen, der zweite nach Verdünnung mit Kochsalzlösung.

Die Analyse ergab für den ersten Theil (unverdünntes Blut):

Specif. Gewicht des Blutes = 1067,71.
Specif. Gewicht des Serums = 1027,68.

T = 23,390
t = 8,316
r = 19,563
s = 46,020
b = 53,980
R = 36,241

Die Verdünnung des zweiten Theiles geschah durch eine 0,57% (genauer 0,5715%) NaCl-lösung, Zu 19,0123 gr Blut kamen 2,4307 gr Kochsalzlösung, d. h. zu 100 gr ursprünglichen Blutes kamen 12,785 gr NaCl-lösung.

Die Analyse ergab für das extra corpus verdünnte Blut:

Specif. Gewicht des Blutes = 1059,76.
Specif. Gewicht des Serums = 1022,44.

T = 20,803
t = 6,841
r = 17,173
s = 53,866
b = 46,134
R = 37,224

Nach ungefähr 15 Minuten wird demselben Thier eine zweite Blutprobe entzogen. Die Zusammensetzung des Blutes war nun folgende:

Specif. Gewicht des Blutes = 1061,27.
Specif. Gewicht des Serums = 1024,94.

$$T = 21,380$$
$$t = 7,426$$
$$r = 17,563$$
$$s = 51,400$$
$$b = 48,600$$
$$R = 36,138$$

In den folgenden Tabellen sind die gefundenen Werthe zusammengestellt. Im 3. Tabellenstabe der ersten Tabelle findet sich die Zusammensetzung des Blutes, wie sie sein würde, wenn man r aus der ersten Blutprobe und der Verdünnung berechnete.

I. Verdünnung des Blutes mit Kochsalzlösung extra corpus.

Versuch I (aus der Dissertation).

	Unverdünntes Blut	Verdünntes Blut	
		mittelst d. Analyse gefunden	T u. t gefunden, r berechnet
T	20,918	18,324	—
t	8,219	6,915	—
r	16,287	13,913	14,207
s	56,345	63,788	59,537
b	43,655	36,212	40,463
R	37,308	38,421	35,111

Versuch II (April 1893).

	Unverdünntes Blut	Verdünntes Blut	
		mittelst d. Analyse gefunden	T u. t gefunden, r berechnet
T	23,390	20,803	—
t	8,316	6,841	—
r	19,563	17,173	17,245
s	46,020	53,062	52,010
b	53,980	46,938	47,990
R	36,241	36,608	33,642

Aderlassversuche.

Versuch I (aus der Dissertation).

	I. Blutprobe	II. Blutprobe ca. 15 Minuten nach dem Aderlass
T	20,918	18,890
t	8,219	7,558
r	16,287	15,161
s	56,345	49,338
b	43,655	50,662
R	37,308	29,926

Versuch II (April 1893).

	I. Blutprobe	II. Blutprobe ca. 15 Minuten nach dem Aderlass
T	23,390	21,380
t	8,316	7,426
r	19,563	17,563
s	46,020	51,400
b	53,980	48,600
R	36,241	36,138

Wenn wir nun die mittelst der Analyse gefundenen Werthe vergleichen, stellt es sich heraus, dass die Blutkörperchen als

Ganzes betrachtet bei der Verdünnung mit Kochsalzlösung extra corpus wasserärmer geworden sind. Gleichzeitig aber haben sie auch Festsubstanzen abgegeben, wie der Vergleich der gefundenen Werthe für *r* mit dem berechneten zeigt.

Unter der Voraussetzung aber, dass der berechnete Werth für *r* der richtigere wäre, wie Bleibtreu es will, hat auch hier eine Wasseraufnahme stattgefunden, die allerdings nicht die Höhe erreicht, wie innerhalb des Körpers.

Damit gebe ich aber durchaus nicht zu, dass der berechnete Werth gerade der richtigere ist. Die „physiologische" Kochsalzlösung ist eben keine ganz indifferente Flüssigkeit und hat entschieden einen Einfluss auf die Zusammensetzung der Blutkörperchen. Dasselbe giebt Bleibtreu selbst zu, indem er die Indifferenz nur „bei geringeren Graden der Verdünnung" gelten lässt (pag. 1).

In die zweite Tabelle sind die Aderlassversuche eingetragen worden.

In Versuch I hat eine beträchtliche Wasseraufnahme seitens der rothen Blutkörperchen stattgefunden, während in Versuch II ihre Concentration annähernd dieselbe geblieben ist. Bei Verdünnung des Blutes mit Gewebsflüssigkeit, wie sie nach einem stärkeren Aderlass eintritt, haben also die Blutkörperchen das Vermögen, grössere Mengen Wasser aufzunehmen. Dieses tritt aber nicht immer ein. Die Bedingungen, unter welchen es geschieht resp. ausbleibt, kennen wir noch nicht. Möglicher Weise ist in Versuch II nur der richtige Zeitmoment nicht getroffen worden. oder ist der Aderlass zu geringfügig ausgefallen.

Die Infusionsversuche meiner früheren Arbeit, sowie die extra corpus vorgenommenen Verdünnungsversuche berechtigen uns also zu dem Schlusse:

Die Blutkörperchen haben innerhalb des Organismus bei intra-vasculärer Infusion 0,6 procentiger Kochsalzlösung, sowie nach Aderlässen, wo die Blutverdünnung durch Gewebsflüssigkeit — wohl der am meisten „physiologischen" Salzlösung — stattfindet, das Vermögen, grosse Mengen Wasser in sich aufzunehmen, d. h. zu quellen. Der Wasserzuwachs, den wir nach der Gerinnung nachweisen können, mag vor derselben ein noch höherer gewesen sein.

Im Gegensatz zu diesem Verhalten innerhalb der Blutbahn verlieren sie, ausserhalb des Körpers mit einer Kochsalzlösung

von oben genannter Concentration vermengt, etwas Wasser und gleichzeitig eine geringe Menge fester Substanzen.

Es muss deshalb diese Quellungsfähigkeit eine vitale Eigenschaft der Blutkörperchen sein, wie es etwa die des Blutes eine solche ist, den Gerinnungsvorgang innerhalb des lebenden Organismus zu verhindern.

M. Bleibtreu will nun experimentell beweisen, dass es sich auch nicht um eine solche vitale Eigenschaft handeln kann. Zu dem Zwecke fing er das Blut aus dem eröffneten Gefäss auf, theilte es in zwei Theile, von denen der eine direct, der andere nach Verdünnung mit physiologischer Kochsalzlösung defibrinirt wurde. Analysirte er die erste Blutprobe und berechnete er nun auf Grundlage des gefundenen Serumprocentes den Eiweissgehalt, wie er im verdünnten Serum sein müsste, wenn die Blutkörperchen unverändert blieben, so müsste der berechnete Werth mit dem nachträglich bestimmten übereinstimmen.

Zu diesen Versuchen möchte ich folgendes bemerken: auch wenn derselbe positiv ausfällt, so dürfen wir daraufhin durchaus nicht den Blutkörperchen eine für das circulirende Blut so zweifellos erwiesene Eigenschaft absprechen.

Das Blut ändert wahrscheinlich im Moment, wo es den Körper verlässt, seine Eigenschaften, das lehrt uns die eintretende Gerinnung, das lehrt uns der Zerfall der weissen Blutkörperchen — Vorgänge, die doch entschieden darauf hinweisen, dass ihm vitale Fähigkeiten verloren gehen.

Wir können daher vom Blute im Glasgefäss nicht dasselbe verlangen wie vom Blut im Körper.

Auch wissen wir nicht, ob die Blutkörperchen nicht doch vor der Gerinnung (extra corpus) im Stande sind, Wasser aufzunehmen, dasselbe beim Gerinnungsvorgang aber wieder verlieren. Zwei Versuche mit Pferdeblut, die ich in Folgendem gebe, machen dieses wahrscheinlich.

Wir sind im Stande, die Gerinnung in diesem Blut auf Stunden aufzuheben. Dasselbe geschieht durch rasche einmalige Abkühlung auf ca. 15—20° Cels. Werden nun die nöthigen Wägungen, sowie die Isolirung der rothen Blutkörperchen schnell vorgenommen, so können wir die Analyse vor dem nachweisbaren Eintritt der Gerinnung beendigen. Damit ist allerdings noch nicht bewiesen, dass einleitende Processe nicht trotzdem stattgefunden haben, die

Blutkörperchen vielleicht an der Lieferung der Gerinnungssubstrate betheiligt sind und dabei Festsubstanzen an das Plasma abgeben. Dadurch aber würde wiederum der Werth für r kleiner ausfallen.

Versuch I. Pferd.

Aderlass aus der Vena jugularis. Das Blut wird in einem ca. 500 ccm fassenden Glascylinder aufgefangen. Nach gehörigem Umschwenken behufs gleichmässiger Vertheilung der Körperchen wird ein Theil abgegossen und defibrinirt. Der im Cylinder befindliche andere Theil kommt in demselben in ein Gefäss mit Kältemischung, worin die Temperatur des Blutes auf circa 18° C. sinkt. Darauf wird der Cylinder herausgehoben und ein Theil seines Inhaltes nach wiederholtem Schwenken abgegossen, um mit Kochsalzlösung verdünnt zu werden. Sowohl das verdünnte als unverdünnte Blut wird ungeronnen der Analyse unterworfen. Das inzwischen defibrinirte Blut wird in gleicher Weise getheilt und eine verdünnte, sowie eine unverdünnte Probe analysirt.

Die Analyse ergab für das ungeronnene unverdünnte Blut:

Specif. Gewicht des Blutes = 1057,02.
Specif. Gewicht des Plasmas = 1029,98.

T = 18,978
t = 8,817
r = 13,268
s = 64,761
b = 35,239
R = 37,651

Die Verdünnung der zweiten ungeronnenen Blutprobe geschah mit einer Kochsalzlösung von 0,689 % und zwar so, dass auf 51,0375 gr ursprünglichen Blutes 7,0802 gr Kochsalzlösung kamen, d. h. auf 100 Theile ursprünglichen Blutes kamen 13,87 Theile Salzlösung, oder in 100 Theilen Mischung waren enthalten 87,8175 Theile ursprünglichen Blutes und 12,1825 Theile NaCl-lösung.

Die Analyse ergab für dieses ungeronnene verdünnte Körperblut:

Specif. Gewicht des Blutes = 1053,83.
Specif. Gewicht des Serums = 1025,76.

T = 16,750
t = 7,462
r = 11,841
s = 65,787
b = 34,213
R = 34,610

Dasselbe Blut defibrinirt unverdünnt hatte folgende Zusammensetzung:

Specif. Gewicht des Blutes = 1054,57.
Specif. Gewicht des Serums = 1027,54.

$T = 18,783$
$t = 8,440$
$r = 12,863$
$s = 70,142$
$b = 29,858$
$R = 43,081$

Ein zweiter Theil des defibrinirten Blutes wird mit 0,689 % NaCl-lösung verdünnt, und zwar so, dass auf 100 Theile ursprünglichen Blutes 14,1417 Theile Salzlösung kommen, oder in 100 Theilen der Mischung 87,6104 Theile ursprünglichen Blutes und 12,3896 Theile Salzlösung enthalten sind.

Jetzt war die Zusammensetzung dieses verdünnten defibrinirten Blutes folgende:

Specif. Gewicht des Blutes = 1048,51.
Specif. Gewicht des Serums = 1023,70.

$T = 16,541$
$t = 7,074$
$r = 11,101$
$s = 76,901$
$b = 23,099$
$R = 48,058$

Versuch II. Pferd.

Die Behandlung des Blutes nach dem Aderlass, sowie die Reihenfolge der Analysen war dieselbe wie in Versuch I.

Die Zusammensetzung des ungeronnenen unverdünnten Blutes war folgende:

$T = 15,928$
$t = 9,629$
$r = 8,277$
$s = 79,458$
$b = 20,542$
$R = 40,292$

Zur Verdünnung des zweiten Theiles wurde eine 0,5715 % NaCl-lösung verwandt, und kamen auf 100 Theile ursprünglichen Blutes 13,285 NaCl-lösung oder in 100 Theile Mischung waren 88,273 Theile ursprüngliches Blut und 11,7271 Theile NaCl-lösung enthalten.

Das so verdünnte ungeronnene Blut zeigte folgende Zusammensetzung:

$T = 14,127$
$t = 8,357$
$r = 7,397$
$s = 80,531$
$b = 19,469$
$R = 37,993$

Dasselbe Blut defibrinirt unverdünnt:

$T = 15{,}831$
$t = 9{,}248$
$r = 8{,}685$
$s = 77{,}271$
$b = 22{,}729$
$R = 38{,}211$

Die Verdünnung des zweiten Theiles des defibrinirten Blutes geschah gleichfalls mit 0,57% NaCl-lösung und zwar kamen auf 100 Theile ursprünglichen Blutes 12,7707 Theile NaCl-lösung oder es waren in 100 Theilen Mischung 88,6755 Theile ursprünglichen Blutes und 11,3245 Theile Salzlösung.

Die Zusammensetzung dieses verdünnten defibrinirten Blutes war folgende:

$T = 14{,}103$
$t = 8{,}047$
$r = 7{,}426$
$s = 82{,}975$
$b = 17{,}025$
$R = 43{,}618$

Die Resultate dieser beiden Versuche sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Wie oben findet sich auch hier in einem 3. Tabellenstabe die Zusammensetzung des Blutes, wie sie sein muss, falls der Werth für r im verdünnten Blut, nicht direct bestimmt, sondern aus der Verdünnung berechnet wird.

Versuch I. Pferd.	Ungeronnenes Blut. unverdünnt	Ungeronnenes Blut. verdünnt: r u. t gefunden	Ungeronnenes Blut. verdünnt: r berechnet	Defibrinirtes Blut. unverdünnt	Defibrinirtes Blut. verdünnt: r u. t gefunden	Defibrinirtes Blut. verdünnt: r berechnet
T=Trockenrückstd. von 100 Th. Blut	18,978	16,750	16,750	18,783	16,541	16,541
t = Trockenrückstd. von 100 Th. Serum	8,817	7,462	7,462	8,440	7,074	7,074
r = Trockenrückstd. der Blutkörperchen in 100 Th. Blut	13,268	11,841	11,736	12,863	11,101	11,269
s = Gewichtsmenge des Serum in 100 Th. Blut	64,761	65,787	67,194	70,142	76,901	75,940
b = Gewichtsmenge der Blutkörperchen v. 100 Th. Blut	35,239	34,213	32,806	29,858	23,099	24,060
R=Trockenrückstd. in 100 Th. feuchter Blutkörperchen	37,651	34,610	35,774	43,081	48,058	46,837

Versuch II. Pferd.	Ungeronnenes Blut. unverdünnt	verdünnt		Defibrinirtes Blut. unverdünnt	verdünnt	
		r u. *t* gefunden	*r* berechnet		*r* u. t gefunden	*r* berechnet
T = Trockenrückstd. von 100 Th. Blut	15,928	14,127	14,127	15,831	14,103	14,103
t = Trockenrückstd. von 100 Th. Serum	9,629	8,357	8,357	9,248	8,047	8,047
r = Trockenrückstd. der Blutkörperchen in 100 Th. Blut	8,277	7,397	7,306	8,685	7,426	7,701
s = Gewichtsmenge des Serums in 100 Th. Blut	79,458	80,531	81,620	77,271	82,975	79,558
b = Gewichtsmenge der Blutkörperchen in 100 Th. Blut	20,542	19,469	18,380	22,729	17,025	20,442
R = Trockenrückstd. v. 100 Th. feuchter Blutkörperchen	40,292	37,993	39,750	38,211	43,618	37,672

In beiden Versuchen zeigen die Blutkörperchen des ungeronnenen Blutes dasselbe Verhalten: ihre Concentration sinkt nach Vermischung mit Kochsalzlösung, sie werden wasserreicher — und zwar geschieht dies gleichviel, ob wir den durch die Analyse gefundenen Werth für *r* in Rechnung ziehen oder den aus der Verdünnungszahl berechneten.

Anders das defibrinirte Blut. Hier wird wie in den früheren Versuchen durch den Zusatz der Kochsalzlösung eine Concentrationszunahme der Körperchen bewirkt — *R* steigt. Gleichzeitig zeigt uns ein Vergleich des gefundenen Werthes für *r* mit dem berechneten, dass die Blutkörperchen mit dem Wasser auch Festsubstanzen abgegeben haben.

Nun könnte dagegen der Einwand erhoben werden: da die Blutkörperchen, wie oben gezeigt wurde, beim Isoliren fast die Gesammtmenge ihrer löslichen Salze an die Waschflüssigkeit verlieren, so wirkt dieser Umstand verhängnissvoll auf das Resultat. Die Verschiedenheit in der Concentration der Blutkörperchen beruht auf einem Fehler der Untersuchungsmethode.

Deshalb habe ich in Versuch II gleichzeitig Salzbestimmungen ausgeführt.

Entweder bleiben alle löslichen Salze in den Blutkörperchen, dann sind die mittelst der Analyse gewonnenen Resultate richtig.

Oder aber die Blutkörperchen verlieren diese Salze an die Waschflüssigkeit, ihr Trockenrückstandsprocent in 100 gr Blut (r) fällt also zu klein aus. Ist nun der Gehalt des Blutes und Plasmas resp. Serums an löslichen Salzen bekannt, so können wir diesen Fehler eliminiren. Die corrigirten Werthe geben uns dann die Zusammensetzung des Blutes an, wie sie sein muss, wenn alle löslichen Salze als bei der Isolirung der Blutkörperchen verloren gegangen betrachtet würden.

Diese Correction geschieht nach folgender Formel:

Nennen wir

x = den Serum- resp. Plasmagehalt des Blutes (procentisch), welcher gesucht wird,

S = den Procentgehalt des Blutes an löslichen Salzen,

s = den Procentgehalt des Plasmas resp. Serums an löslichen Salzen.

Zu r, dem Trockenrückstand der in 100 Theilen Blut enthaltenen rothen Blutkörperchen, muss der Werth, den ihre löslichen Salze repräsentiren, hinzugefügt werden.

Derselbe beträgt aber $S - \frac{s x}{100}$.

Fügen wir ihn nun in die Formel für den Serumgehalt $x = \frac{100\,(T-r)}{t}$, so lautet dieselbe nun:

$$x = \frac{100\left[T - r\left(+s - \frac{s x}{100}\right)\right]}{t}$$

$$= \frac{100\left(T - r - S + \frac{s x}{100}\right)}{t}$$

$$x t = 100\,T - 100\,r - 100\,S + x s\,,$$

$$x t - x s = 100\,(T - r - S),$$

$$x = \frac{100\,(T - r - S)}{t - s}.$$

Die Bestimmung der löslichen Salze geschah in folgender Weise:

Ein gewogenes Quantum Blut, Plasma oder Serum wurde mit destillirtem Wasser in eine Porcellanschaale hinübergespült, durch Zusatz einiger Tropfen verdünnter Essigsäure neutralisirt und das Eiweiss auf dem Dampfbade coagulirt.

Der Inhalt der Schaale wurde nun unter sorgfältigem Nachwaschen des Coagulums filtrirt, das Filtrat nochmals auf das Dampfbad gebracht. Dabei schieden sich meist noch einige Eiweissflocken

aus, es wurde dann ein zweites Mal filtrirt, schliesslich das Filtrat eingeengt und in einem gewogenen Platintiegel langsam verdampft. Nun wurde derselbe schwach geglüht, um vorhandene organische Substanzen zu verbrennen und gewogen. Nachträglich extrahirte ich die Salze aus der vorhandenen Kohle mit heissem Wasser und bestimmte das Gewicht der letzteren, um es in Abzug bringen zu können.

Das Ergebniss der Salzbestimmung war folgendes: in 100 gr ungeronnenen Blutes fanden sich 0,8252 gr lösliche Salze; in 100 gr Plasma waren 0,8341 gr löslicher Salze.

Dasselbe Blut, verdünnt mit einer Kochsalzlösung in der oben angeführten Concentration und Menge muss enthalten in 100 gr = 0,7954 gr löslicher Salze (berechnet), in 100 gr des verdünnten Plasmas fanden sich 0,802 gr löslicher Salze.

Der Salzgehalt desselben Blutes nach dem Defibriniren betrug für 100 gr Blut = 0,7703 löslicher Salze; für 100 gr Serum = 0,8055 gr löslicher Salze.

Das verdünnte defibrinirte Blut enthielt in 100 gr 0,7478 gr löslicher Salze (aus der Verdünnung berechnet), in 100 gr Serum =0,7528 gr löslicher Salze (bestimmt).

In die folgende Tabelle sind die ursprünglich gefundenen Werthe neben den corrigirten, wie sie sich nach Correction von r herausstellen, eingetragen worden. Sie zeigt uns, dass eine Aenderung in dem Verhalten von R vor und nach der Verdünnung auch nach Elimination des Fehlers nicht stattfindet:

Die Concentration der Blutkörperchen im ungeronnenen Blut sinkt nach der Verdünnung, die im defibrinirten steigt.

Ich habe oben gesagt, die beiden letzten Versuche machten es „wahrscheinlich“, dass die Blutkörperchen im ungeronnenen Blute noch diese Quellungsfähigkeit besitzen, wenn auch in weit geringerem Maasse als innerhalb des Körpers. Es als eine bewiesene Thatsache hinzustellen, halte ich mich nicht für berechtigt, da ich mir wohl bewusst bin, dass dazu eine grössere Versuchsreihe nöthig ist, als es die meinige ist.

Zum Schlusse sei es mir gestattet, den Schlusssätzen M. Bleibtreu's diejenigen entgegenzusetzen, zu welchen mich die Resultate meiner Versuche berechtigen.

I. Die rothen Blutkörperchen besitzen innerhalb des Organismus bei Verdünnung des Blutes durch intravasculäre Infusion phy-

			T = Trockenrückstand v. 100 gr Blut	t = Trockenrückstand von 100 gr Serum	r = Trockenrückstd. der Blutkörperchen in 100 gr Blut	s = Gewichtsmenge des Serums in 100 gr Blut	b = Gewichtsmenge der Blutkörperchen in 100 gr Blut	R = Trockenrückstd. v. 100 gr feucht. Blutkörperchen
Ungeronnenes Blut	unverdünnt	Werthe, wie sie mittelst der Analyse gefunden sind	15,928	9,629	8,277	79,458	20,542	40,292
		Corrig. Werthe. Die löslichen Salze der Blutkörperchen zu r hinzugefügt	15,928	9,629	8,455	77,612	22,388	37,766
	verdünnt	Werthe, wie sie mittelst der Analyse gefunden sind	14,127	8,357	7,397	80,531	19,469	37,993
		Corrig. Werthe. Die löslichen Salze der Blutkörperchen zu r hinzugefügt	14,127	8,357	7,563	78,557	21,443	35,270
Defibrinirtes Blut	unverdünnt	Werthe, wie sie mittelst der Analyse gefunden sind	15,831	9,248	8,685	77,271	22,729	38,211
		Corrig. Werthe. Die löslichen Salze der Blutkörperchen zu r hinzugefügt	15,831	9,248	8,847	75,519	24,481	36,138
	verdünnt	Werthe, wie sie mittelst der Analyse gefunden sind	14,103	8,047	7,426	82,975	17,025	43,618
		Corrig. Werthe. Die löslichen Salze der Blutkörperchen zu r hinzugefügt	14,103	8,047	7,562	81,289	18,711	40,415

siologischer Kochsalzlösung in hohem Maasse die Fähigkeit, Wasser aufzunehmen — d. h. zu quellen. Ebenso nach stärkeren Aderlässen, wobei die Verdünnung durch Gewebsflüssigkeit stattfindet.

II. Ausserhalb des Körpers verlieren sie nach dem Gerinnungsprocess diese Fähigkeit, deren Vorhandensein im ungeronnenen Blute auch extra corpus noch erkennbar ist.

(Aus dem physiologischen Institut in Bonn.)

Bemerkungen zu der vorstehenden Abhandlung von Th. Lackschewitz.

Von

Dr. **Max Bleibtreu.**

Zu dem vorstehenden Aufsatze des Herrn Dr. Th. Lackschewitz, soweit sich derselbe mit meiner Kritik seiner früheren Abhandlung „Ueber die Wasseraufnahmefähigkeit der rothen Blutkörperchen etc." (Dissert. Dorpat 1892) beschäftigt, habe ich folgende Bemerkungen zu machen.

Lackschewitz beginnt seine Besprechung meiner Kritik mit den Worten: „Der Verfasser kommt, nachdem er einen meiner Versuche einer Kritik unterzogen hat, zu dem Schlusse: da dieser eine Versuch ein unwahrscheinliches Resultat ergibt, so sind auch alle die andern falsch." Diese Worte könnten bei denjenigen Lesern, welche die erste Abhandlung Lackschewitzs nicht kennen, die Meinung erwecken, dass ich aus einer grossen Anzahl von Versuchen einen herausgegriffen, einen Fehler in demselben nachgewiesen und darauf eine abfällige Kritik über die ganze Arbeit begründet hätte. Ich stelle daher zunächst fest, dass es sich im Ganzen blos um vier Versuche handelte. Die ersten drei Versuche, in denen Einspritzungen von 0,6 procentiger Kochsalzlösung in das Gefässsystem vorgenommen wurden, führten zu dem Schlusse, dass in Folge dieser Einspritzung, die etwa 15 % der im Thiere enthaltenen Blutmenge betrug, eine ganz ungeheure Wasseraufnahme von Seiten der rothen Blutkörperchen stattfinde, so dass dieselben bis auf das Doppelte ihres ursprünglichen Volumens aufquollen (S. 14).

Im Versuch III z. B. setzten sich vor der Infussion 100 gr Blut zusammen aus 35,545 gr Körperchen und 64,455 gr Serum, nach

der Infusion aus 62,153 gr Körperchen und 37,847 gr Serum. (Ich erinnere hier an einen Ausspruch Welckers[1]) gelegentlich der Besprechung von Versuchen, bei denen sich nach der Methode von Carl Schmidt als mittleres Verhältniss von Blutkörperchen zu Plasma beim Menschenblut 512 : 488 ergeben hatte: „Ein solches Blut würde, zumal in engen Gefässen, kaum zu fliessen vermögen, es würde sich, mehr als zur Hälfte aus geformten Elementen bestehend, wie ein dicklicher Brei nur unvollkommen fortschieben.)“ Eine so gewaltige Volumzunahme der Blutkörperchen durch Wasseraufnahme musste von vornherein als sehr merkwürdig, wenn nicht gar als unwahrscheinlich, angesehen werden. Es würden aber diese Versuche eine mächtige Stütze erhalten haben, wenn sich zeigen liess, dass unter den einfacheren Verhältnissen eines Reagenzglasversuches, die rothen Blutkörperchen bei dem Zusatz einer entsprechenden Menge physiologischer Kochsalzlösung noch dasselbe Verhalten zeigten. Hier sind alle fremdartigen Einflüsse ausgeschlossen; hier würde daher auch, ganz abgesehen von einer Bestimmung von r und R, der Nachweis, dass das Blut sich in stärkerem Grade verdünnt zeigt, als das Serum, beweisend sein für eine Wasseraufnahme von Seiten der Körperchen, während diese Erscheinung im Infusionsversuch sich ganz einfach auf andere Weise erklären lässt. Auch ist man im Reagenzglasversuch sicher, dass es Blutkörperchen derselben Art sind, die vor und nach der Verdünnung untersucht werden. Lackschewitz sagt oben: „Wenn ich ein bestimmtes Blutquantum analysire und constatire, dass von 100 Gewichtstheilen feuchter Blutkörperchen so und so viel auf den Wassergehalt kommt, so und so viel auf die Trockenrückstände, das zweite Mal nach der Infusion von Kochsalzlösung ein zweites Blutquantum analysire und nun finde, dass der Wassergehalt in 100 Theilen feuchter Blutkörperchen um so und so viel gestiegen, der Trockenrückstand gesunken ist, so stelle ich zunächst das Faktum fest: die Blutkörperchen haben Wasser aufgenommen etc.“ Nein! nicht dass die Blutkörperchen Wasser aufgenommen haben, wird zunächst dadurch festgestellt, sondern — die Richtigkeit der Beobachtung vorausgesetzt — es wird zunächst nur das Faktum festgestellt, dass man jetzt Blutkörperchen

1) Welcker, Ztschr. f. rat. Med., 3. Reihe, Bd. 20, 1863.

von einem geringeren Concentrationsgrade vor sich hat. Einen Schluss macht man schon, wenn man diese Concentrationsabnahme auf Wasseraufnahme in Folge der Infusion bezieht. Lackschewitz selbst erwähnt wenigstens in Versuch III seiner ersten Abhandlung als Einfluss, der mitgewirkt haben könnte, eine Veränderung in den Blutbildungsstätten. Wahrscheinlich scheint mir eine solche in der kurzen Zeit des Versuches allerdings nicht, möglich ist es aber immerhin, dass in Folge des Eingriffes Blutkörperchen in die Cirkulation gelangt sind, die schon von vornherein einen geringeren procentischen Gehalt an Trockensubstanz besassen und gar nicht erst Wasser aufzunehmen brauchten um einen niedrigeren Concentrationsgrad zu zeigen als die Blutkörperchen der ersten Probe.

Beim Reagenzglasversuche sind solche Einflüsse ausgeschlossen; derselbe war daher von grosser Bedeutung. Diesen Versuch nun machte Lackschewitz in Nr. IV seiner ersten Veröffentlichung und zwar mit demselben Erfolg: es fand auch hier eine gewaltige Wasseraufnahme von Seiten der rothen Blutkörperchen statt, in Folge deren das Gewicht der in 100 gr Blut enthaltenen Blutkörperchen von 38,08 gr auf 53,28 gr stieg, entsprechend einer Wasseraufnahme von nahezu 40 %. Damit schien denn auch für das defibrinirte Blut im Reagenzglase, ebenso wie für das im Thierkörper verdünnte Blut eine in grösstem Maassstabe stattfindende Wasseraufnahme durch die Blutkörperchen bewiesen, und in dieser Form ist auch das Versuchsresultat in das Buch Alexander Schmidt's (Zur Blutlehre, Leipzig 1892, S. 244) übergegangen, indem jene Fähigkeit nicht nur für das circulirende Blut, sondern auch für das aus dem Körper entnommene Blut allgemein behauptet wurde.

Nun konnte ich aus den Zahlen des Versuches IV selbst nachweisen, dass hier ein grosser Irrthum vorliegen musste, indem der Werth r um einen sehr beträchtlichen Theil zu hoch angegeben war. Nach Beseitigung dieses Fehlers blieb von der ganzen Wasseraufnahme nur noch ein ganz geringer Bruchtheil übrig, indem nun das Gewicht der Blutkörperchen in 100 gr Blut von 38,080 auf 40,456 gr gestiegen war, vorausgesetzt, dass der Werth von r in der erst untersuchten Probe richtig bestimmt war.

Der Reagenzglasversuch hatte also durchaus nicht eine Bestätigung der behaupteten Eigenschaft ergeben, im Gegentheil er

hatte gezeigt, dass der wichtigste Werth, auf den es bei diesen Versuchen ankam, total falsch ausgefallen war.

Dass dadurch das Vertrauen auch auf die drei andern Versuche erschüttert wurde, darüber darf Lackschewitz sich nicht wundern; ebensowenig darüber, dass ich nach den Erfahrungen mit Versuch IV keine Veranlassung sah, das Experiment der Versuche I bis III nachzumachen.

Durch die vorstehende Abhandlung Lackschewitz's erfahren wir nun, dass es sich bei Versuch IV um einen Rechenfehler handelte, dass der Werth von r, der in der ersten Veröffentlichung zu 15,094 gr angegeben war, nur 13,916 gr betragen habe. Ich hatte für diesen Werth aus der Verdünnung des Blutes durch die zugesetzte Kochsalzlösung 14,207 gr berechnet und zugegeben, dass dieser Werth allenfalls kleiner, nicht aber grösser als diese Zahl ausfallen dürfe. Aus dem Versuch IV folgert Lackschewitz nun jetzt nach Beseitigung des Fehlers, dass die Blutkörperchensubstanz durch die Einwirkung der Salzlösung nicht an Wassergehalt zugenommen, sondern im Gegentheil abgenommen hat, dass sich also die Blutkörperchen im defibrinirten Blut ausserhalb des Körpers umgekehrt verhalten wie im circulirenden Blut. Die Differenz der beiden Werthe für r (des berechneten und des von Lackschewitz gefundenen Werthes) beträgt 0,294 gr auf 100 gr Blut bezogen. In den direkt beobachteten Werthen beträgt diese Differenz, da zur Trockensubstanzbestimmung der isolirten Blutkörperchen 1,3635 gr Blut benutzt wurde, 4,1 Milligramm.

Ich komme nun zu einem anderen Punkte der vorstehenden Abhandlung: L. Bleibtreu und ich hatten in einer früheren Veröffentlichung in diesem Archiv (51. Band, S. 151) gefunden, dass beim Pferdeblut eine merkwürdige Constanz in der Zusammensetzung der Substanz der feuchten Blutkörperchen bestehe, die wir zunächst hinsichtlich des Gehaltes an Stickstoff und im specifischen Gewicht nachweisen konnten, und die ich später auch hinsichtlich des Gehaltes an Trockensubstanz bestätigt habe. Ein ähnlich constantes Verhalten wurde später von Dr. O. Lange (dieses Archiv Bd. 54) im Schweineblut nachgewiesen. Darauf haben wir ein abgekürztes Verfahren zur Bestimmung des Körperchenvolums im

Blute begründet, welches zwar, wie wir ausdrücklich hervorhoben[1]), auf absolute Genauigkeit keinen Anspruch machen konnte, das aber den Vortheil bot, in kurzer Zeit und mit wenig Mühe, sich eine annähernd richtige Vorstellung von dem Volum der Körperchen zu machen. Wie die Zusammenstellung S. 192 in unserer früheren Abhandlung zeigt, stimmen die gefundenen Zahlen mit den nach der genauen Methode ermittelten meist sehr gut überein. In 19 Versuchen mit Pferdeblut, die theils von L. Bleibtreu und mir, theils von Wendelstadt und L. Bleibtreu[1]), theils von mir allein ausgeführt wurden, wurden für den Stickstoffgehalt in 100 ccm rother Blutkörperchen folgende Zahlen gefunden: 7,309, 7,417, 7,422, 7,587, 7,832, 7,589, 7,546, 7,346, 7,419, 7,460, 7,390, 7,869, 7,575, 7,527, 7,576, 7,629, 7,511, 7,308, 7,488.

Für die Trockensubstanz in 100 gr Blutkörperchensubstanz (also auf Gewicht bezogen) fand ich in 5 Versuchen: 40,96, 40,41, 42,68, 41,49, 42,07.

Die Behauptung einer gewissen Constanz der Zusammensetzung war also sehr wohl begründet, wenn ich auch durchaus nicht in Abrede stellen will, dass auch grössere Abweichungen vorkommen mögen.

Lackschewitz behauptet dem gegenüber:

„Die Thatsache, dass die Concentration der rothen Blutkörperchen Schwankungen unterliegt, ist längst bekannt und findet sich in jedem Lehrbuche der Physiologie angeführt.“

So viel ich weiss, finden sich in den Lehrbüchern und Handbüchern der Physiologie über den Concentrationsgrad der Blutkörperchen nur sehr spärliche Angaben; ich wüsste auch nicht, woher die Lehrbücher ihre Kenntniss über diesen Gegenstand schöpfen sollten, da über die Zusammensetzung der feuchten Blutkörperchen bis vor wenigen Jahren nichts Zuverlässiges vorlag als

1) Wir bemerkten S. 190 a. a. O.: „Wo es freilich auf eine absolut genaue Volumbestimmung ankommt, werden wir immer wieder zu unserer ersten Methode zurückkehren, da die zweite Methode ja auf der Annahme einer absolut constanten Eiweisszusammensetzung der Blutkörperchensubstanz beruht, eine Annahme, die, wie aus der Zusammenstellung S. 188 hervorgeht, in dieser Strenge nicht zutrifft.

die wenigen Analysen von Hoppe-Seyler und seinen Schülern und von Bunge.

Dass das Menschenblut unter pathologischen Verhältnissen grosse Schwankungen im Gehalt der Blutkörperchensubstanz an Stickstoff zeigt, wurde von Wendelstadt und Bleibtreu nachgewiesen (Ztschr. f. klin. Med. Bd. 25, Heft 3 und 4). Dass auch unter physiologischen abnormen Verhältnissen, wie z. B. unter der Einwirkung von Durst, grössere Veränderungen in der Concentration der Blutkörperchensubstanz vorkommen, halte ich gar nicht für unwahrscheinlich.

Hinsichtlich der Bestimmung des Werthes von r wird in den Dorpater Arbeiten, zuerst von Arronet, auseinandergesetzt, dass beim Auswaschen der Blutkörperchen mit Natriumsulfatlösung die löslichen Salze aus den Körperchen ausgewaschen werden und dadurch der Werth von r zu klein ausfalle. Dass er wegen anderer Gründe zu gross ausfallen könne, hält Lackschewitz für unmöglich. Zu den Worten Lackschewitz's in der vorstehenden Abhandlung: „Ich begnüge mich daher mit diesem Hinweis auf das oben Gesagte und will nur bemerken, dass M. Bleibtreu nicht einmal versucht, eine Erklärung zu geben, woher der Werth r zu gross ausfallen könnte", muss ich bemerken, dass ich in meiner Kritik zwar nicht eine Erklärung dafür gegeben habe, weshalb in Lackschewitz's Versuchen r zu gross werden konnte, dass ich wohl aber die Thatsache nachwies, dass in einem seiner vier Versuche der Werth von r fast um den ganzen Betrag zu hoch war, der die von ihm behauptete Eigenschaft der Blutkörperchen beweisen sollte! Er vergisst, dass ich den Umstand, dass in diesem Versuche gerade ein Rechenfehler vorlag, nach seiner ersten Veröffentlichung doch unmöglich ahnen konnte. Wenn Lackschewitz in seiner jetzigen Abhandlung wiederholt behauptet, dass er diesen Versuch nur nebenher und als etwas Unwichtiges ausgeführt habe und dem Leser gar zumuthet, dass er die Minderwerthigkeit dieses Versuches eigentlich schon aus dem Umstande hätte ersehen müssen, dass er diesen Versuch nicht an erster sondern an letzter Stelle anführte und denselben nur einmal und nicht wie die anderen dreimal anstellte, so sind diese Bemerkungen wohl kaum ernst gemeint.

Alexander Schmidt schien der Versuch wichtig genug, um das Ergebniss desselben in seine letzte Veröffentlichung aufzunehmen, aus welcher er ohne meinen Einspruch jedenfalls weiter in die Litteratur übergegangen wäre.

Es ist durchaus nicht meine Absicht, Lackschewitz einen Vorwurf aus seinem Rechenfehler zu machen; ein solcher kann Jedem vorkommen, aber er darf nicht verlangen, dass seine erste Arbeit so beurtheilt werde, als ob dieser Fehler nicht darin vorgekommen wäre.

Ueber die Bestimmung von *r* nach der Dorpater Methode werde ich weiter unten noch sprechen.

Lackschewitz begann seine erste Abhandlung mit der Bemerkung, dass er ursprünglich die Absicht gehabt habe, durch Analysen des Blutes vor und nach der Infusion physiologischer Kochsalzlösung aus der dadurch bewirkten Verdünnung des Blutes die Gesammtblutmenge des betreffenden Individuums nach Valentin zu bestimmen. Davon, dass die Valentin'sche Methode wegen des Flüssigkeitsaustausches zwischen Blut und Geweben und mancherlei anderer Einflüsse von Seiten des lebenden Organismus prinzipiell unzulässig ist, war an jener Stelle nicht die Rede.

Bei der Besprechung der Versuche von Kröger und Lackschewitz sagt Alexander Schmidt: „Unter der Annahme, dass die Blutmenge $^1/_{13}$ des Körpergewichts betrug, ergab sich, dass die ganze injicirte Wassermenge zur Zeit des betreffenden Aderlasses noch im Blute enthalten und von den rothen Blutkörperchen aufgenommen war" („Zur Blutlehre" Leipzig 1891, S. 241). Das konnte nicht anders verstanden werden, als dass angenommen wurde, dass das Blut sich mit der eingespritzten Kochsalzlösung gemäss dem aus der Abnahme der Concentration des Blutes zu bestimmenden Verhältniss einfach vermischt habe, in derselben Weise wie es ausserhalb des Körpers im Reagenzglase geschieht. Demgegenüber wies ich in meiner Kritik auf die mannigfaltigen Verwickelungen hin, die bei der Einspritzung der Salzlösung in das Gefässsystem des lebenden Thieres von Seiten des Organismus eintreten können und die es nöthig machen, Schlüsse aus solchen Versuchen mit Vorsicht und Vorbehalt zu ziehen (nicht, „dass man eigentlich überhaupt keine Analysen bei solchen Experimenten machen

dürfe", wie Lackschewitz oben behauptet). Indem ich aber die von der gegnerischen Seite — nicht von mir! — gemachte Voraussetzung, dass eine einfache Vermischung von Blut und Kochsalzlösung gemäss der Verdünnung des Blutes nach der Infusion stattgefunden habe, gelten liess, zeigte ich, dass unter dieser Annahme die Werthe von r in den drei Versuchen am lebenden Thier denselben Widerspruch zeigten, wie ich ihn vorher am Reagenz-Glasversuch nachgewiesen hatte. Es hat also gar keinen Sinn, wenn Lackschewitz behauptet, dass ich zuerst auf die Complicationen von Seiten des lebenden Organismus hingewiesen, nachher aber dieselben selbst ausser Acht gelassen hätte. Dass aber Lackschewitz diese Einflüsse von Seiten des Thierorganismus immer noch nicht richtig in Rechnung zieht, geht daraus hervor, dass er in der vorstehenden Abhandlung behauptet, dass man auch ohne eine Bestimmung des Werthes von R, allein schon aus dem Verhalten der Werthe von T und t eine Wasseraufnahme von Seiten der Blutkörperchen erkennen könne. Aus dem Umstand, dass nach der Infusion der Salzlösung das Blut in einem höheren Grade verdünnt erscheint als das Serum (wie es in den oben angeführten Versuchen von Kroeger der Fall ist), soll allein schon ohne weitere Analysen folgen, dass Wasser von den Blutkörperchen aufgenommen worden ist. Als ob eine solche Erscheinung nicht einfach durch eine andere Vertheilung der Blutkörperchen in dem Capillarsystem und dem System der grossen Gefässstämme erklärt werden könnte! Cohnstein und Zuntz haben gezeigt (im 41. Band dieses Archivs), dass eine stärkere Durchströmung grösserer Capillargebiete, ein Sinken des Blutkörperchengehaltes in den grösseren Gefässstämmen zur Folge hat. So entsteht eine Verdünnung des Blutes im System der grösseren Gefässe bei unverändertem Plasma, auch ohne dass Wasser in die Gefässe eingespritzt wird.

Nachdem Lackschewitz den mehrfach erwähnten Versuch IV seiner ersten Arbeit richtig gestellt hat, folgt die Mittheilung eines ganz entsprechend ausgeführten Versuches mit Katzenblut (s. o. Versuch vom April 1893). Derselbe ist in mehrfacher Hinsicht interessant. Erstens bestätigt er, dass im defibrinirten Blut die Blutkörperchen der physiologischen Kochsalzlösung gegenüber eine Wasseraufnahmefähigkeit nicht besitzen, zweitens gibt er in

Bezug auf die Wirkung eines stärkeren Aderlasses ein ganz anderes Resultat als der Versuch IV. In Lacksehewitz's erster Abhandlung wurde aus dem Versuch IV geschlossen S. 21: „Der Verlust, den die Gesammtmenge des Blutes nach einem stärkeren Aderlass erleidet, wird rasch durch Aufnahme von Flüssigkeit aus den Geweben ersetzt. Das Wasser nehmen aber wieder die Blutkörperchen auf.“ Alexander Schmidt sagt über denselben Versuch (S. 244 der Blutlehre): „Uebrigens führt man dieselben Blutveränderungen wie durch Injection von Wasser oder von verdünnter Kochsalzlösung auch durch eine starke Blutentziehung oder durch wiederholte Aderlässe herbei, was auf Blutverdünnung durch Wasseraufnahme aus den Geweben beruhen dürfte.“ „Lackschewitz entzog einem Kater von mässiger Grösse 48 gr Blut und entnahm ihm 40 Minuten später ein zweites kleineres Blutquantum, und es fand sich, dass der Wassergehalt des Blutes infolge des ersten stärkeren Aderlasses eine Vermehrung erfahren hatte, aber so, dass derjenige der rothen Blutkörperchen um 30 %, derjenige des Serums nur um 0,7 % zugenommen hatte. Die Blutkörperchen verhindern auf diese Weise jede stärkere Verdünnung des Plasmas.“

Auch in dem neuen Versuche ist eine erhebliche Verdünnung des Blutes, in Folge des Aderlasses eingetreten, aber die Wasseraufnahme von Seiten der Körperchen ist diesmal ausgeblieben. Lackschewitz vermuthet, dass entweder der Aderlass zu geringfügig (er betrug 40 bis 50 ccm bei einem Thier von 3500 gr, im Versuch IV 48 ccm bei einem Thier von 2750 gr) oder dass der richtige Zeitmoment nicht getroffen war. (Der zweite Aderlass war ca. 15 Minuten, in Versuch IV der Dissertation ca. 40 Minuten nach dem ersten gemacht worden.) Ob ein so verschiedenes Verhalten nach demselben Eingriff viel Wahrscheinliches für sich hat, möge dahin gestellt bleiben.

Ebenso wie Versuch IV, ergibt auch dieser Versuch beim defibrinirten Blut eine Abweichung des für *r* gefundenen und des nach meiner Angabe berechneten Werthes; ersterer ist 17,173, letzterer 17,245. Wird der erstere Werth genommen, so ergibt sich eine kleine Zunahme der Concentration der Blutkörperchen (also eine Wasserabgabe, ebenso wie Versuch IV nach der Berichtigung des Rechenfehlers), wird der letztere Werth zu Grunde

gelegt, so ergibt sich eine kleine Concentrationszunahme, also eine Wasseraufnahme.. Den gefundenen Werth hält Lackschewitz für den richtigeren, während er aus der Abweichung des berechneten Werthes schliesst, dass die Körperchen in Folge des Zusatzes der Salzlösung feste Substanzen abgegeben haben; der Versuch soll darthun, dass die physiologische Kochsalzlösung „einen ganz entschiedenen Einfluss" auf die Zusammensetzung der Blutkörperchen hat. Es ist interessant, sich zu vergegenwärtigen, wie gross die fragliche Differenz in den direkt beobachteten Werthen gewesen ist. Auf 100 gr Blut bezogen betrug dieselbe 17,245—17,173 = 0,072 gr. Wenn die Menge des zur Bestimmung von r benutzten Blutes nicht grösser war, als im Versuch IV der Dissertation, wo 1,3635 gr Blut zur Bestimmung dieser Grösse dienten — und viel grösser ist wohl die Menge nicht gewesen, da Lackschewitz gewöhnlich 4 bis 6 gr Blut centrifugirte, wovon der grössere Theil zur Sulfatbestimmung genommen wird — so beträgt diese Differenz in der direkten Beobachtung noch nicht 1 Milligramm.

Zum Schlusse noch einige Bemerkungen über die von Lackschewitz benutzte und in der vorstehenden Abhandlung mitgetheilte Dorpater Methode.

In meiner Kritik der früheren Arbeit von Lackschewitz sagte ich bereits, dass diese Methode prinzipiell ohne Bedenken ist. In ihrer praktischen Ausführung theilt sie zunächst die Schwierigkeiten der Hoppe-Seyler'schen Methode, mit der sie im Wesentlichen identisch ist. Man schwebt bei dieser Methode zwischen zwei Gefahren, nämlich dass man auf der einen Seite bei dem Process des Auswaschens der Blutkörperchen mit der als Waschflüssigkeit dienenden Salzlösung zu viel auswäscht, auf der anderen Seite, dass man zu wenig auswäscht und auf diese Weise Serumbestandtheile zurücklässt. Vor der ersten Gefahr wird man gewarnt durch den Hämoglobinaustritt. Im Allgemeinen vertragen aber die Blutkörperchen eine dreimalige Wiederholung des Auswaschungsprocesses, ohne dass ein Verlust an Hämoglobin und anderen organischen Substanzen der Körperchen zu befürchten ist. Die andere Gefahr aber, dass man Serumbestandtheile beim Auswaschungsprocess zurücklässt, in welchem Falle r zu gross ausfällt, tritt dann ein, wenn die Blutkörperchen sich schlecht absetzen.

Hoppe-Seyler sagt darüber (Handb. d. physiolog. u. patholog. chem. Anal. Berlin 1893 S. 420): „sie (die Methode) ist nur dann anwendbar, wenn die Blutkörperchen in dem mit oben beschriebener Chlornatriumlösung gemischten defibrinirten Blut sich so vollkommen absetzen, dass eine klare und baldige Trennung von der Flüssigkeit durch Abgiessen derselben ermöglicht ist. Sie ist daher besonders brauchbar bei der Analyse von Vogel-, Amphibien-, Fischblut bei Anwendung von Natriumsulfatlösung; nicht so gut geeignet ist sie für das Blut von Wiederkäuern und Schweinen. Für Menschenblut eignet sie sich meist gut. Man kann es nur bei Menschen und Säugethieren oft nicht vorauswissen, wie die Blutkörperchen sich verhalten werden". Der Umstand, dass aus diesem Grunde die Methode oft unbrauchbar wird, veranlasst Hoppe-Seyler in dem folgenden Paragraphen des Handbuchs eine andere Methode, für den Fall, dass jene versagt, in Vorschlag zu bringen. Die Angabe Lackschewitz's, dass bei dreimalig wiederholter Auswaschung nur noch etwa $^1/_{9000}$ des Serums im zuletzt erhaltenen Blutkörperchenbrei zurückbleiben könne, gilt also nur für den Fall, dass das Absetzen der Blutkörperchen jedesmal in tadelloser Weise erfolgt.

Was nun das besondere Verfahren der Dorpater Methode gemäss der oben von Lackschewitz gegebenen Vorschrift betrifft, so ist es wichtig, sich zu vergegenwärtigen, dass bei der Bestimmung des Trockenrückstandes der isolirten Blutkörperchen ein Fehler von 1 Milligramm, ja sogar von Bruchtheilen von Milligrammen, schon ins Gewicht fällt. Wer sich aber mit der Bestimmung von Trockenrückständen — oder, worum es sich hier eigentlich handelt, mit der Bestimmung der bei 105 bis 115° nicht flüchtigen Bestandtheile — von Organsubstanzen beschäftigt hat, der weiss, dass hier eine Ermittelung bis auf Bruchtheile von Milligrammen, ja selbst bis auf Milligramme, gar keine so einfache Aufgabe ist.

Jedenfalls ist es nöthig, durch Controlbestimmungen diesen Fehler einzuengen. In dem Versuch IV, dessen Protokoll wir ausführlicher vor uns haben, hat Lackschewitz Doppelbestimmungen nicht angegeben. Ich setze aber voraus, dass er sie in den anderen Versuchen gemacht hat; interessant wäre es jedenfalls zu wissen, um wie viel die Werthe der Trockensubstanzen bei Doppelbestimmungen untereinander abweichen.

Nun kommt aber hinzu, dass zur Ermittelung von *r* von dem gefundenen Trockensubstanzwerth noch die in demselben mitenthaltene Natriumsulfatmenge in Abzug gebracht werden muss. Es handelt sich dabei um recht kleine Mengen, in den beiden mitgetheilten Fällen um 50,3 bezw. 30,2 Milligramm Natriumsulfat. Auch hier sind Fehler von einem Milligramm zu vermeiden! Ausser den Fehlern bei der Wägung handelt es sich hier aber ferner darum, das Sulfat aus den coagulirten Eiweisssubstanzen ohne Verlust auszuwaschen; jeder Verlust an Natriumsulfat vergrössert den Werth von *r*. Nun werden aber auch in Wasser sehr leicht lösliche Substanzen von Eiweissniederschlägen oft sehr zäh festgehalten, so dass ein äusserst sorgfältiges Auswaschen erforderlich ist. Die Prüfung des Waschwassers mit Chlorbaryum täuscht oft, weil die Trübung durch den Niederschlag von Baryumsulfat erst nach längerem Stehen in der Reagenzglasprobe sichtbar wird.

Jedenfalls ist — wenn wir von Fehlern bei den übrigen Wägungen und Trockensubstanzbestimmungen ganz abgesehen — allein schon die Bestimmung von *r* von so vielen Fehlerquellen bedroht, dass nur bei mehrfacher Controle der ermittelten Werthe sichere Resultate von der Methode zu erwarten sind.

In den Pferdeblutanalysen der vorstehenden Abhandlung sucht Lackschewitz durch Versuche an ungeronnenem Blut es wahrscheinlich zu machen, dass die Blutkörperchen vor dem Eintritt der Gerinnung noch einen Rest ihrer Wasseraufnahmefähigkeit behalten hätten. Die Wasseraufnahmefähigkeit physiologischer Kochsalzlösung gegenüber betrachtet er jetzt, nachdem er diese Eigenschaft für das defibrinirte Blut hat fallen lassen müssen, als eine Lebenseigenschaft der rothen Blutkörperchen, die sie in der kurzen Spanne Zeit zwischen Aderlass und Gerinnung plötzlich verlieren, um dann im defibrinirten Blut sogar die entgegengesetzte Eigenschaft anzunehmen.

Auch bei diesen Versuchen dürften die Differenzen, aus denen die Schlüsse gezogen sind, kaum weit von den Fehlergrenzen der Methode entfernt sein.

In einem von mir in meiner Kritik der ersten Arbeit von Lackschewitz veröffentlichten Versuche, in welchem das Blut in ungeronnenem Zustande unmittelbar nach dem Aderlasse der Einwir-

kung der physiologischen Kochsalzlösung ausgesetzt wurde, war keine Spur von einer Wasseraufnahme durch die Blutkörperchen festzustellen. Auch hier erklärt Lackschewitz das verschiedene Verhalten dadurch, dass nicht der richtige Zeitmoment getroffen war.

Ich schliesse meine vorstehende Erwiderung mit folgenden Sätzen:

I. Die früher von Lackschewitz aufgestellte Behauptung, dass die Blutkörperchen auch im defibrinirten Blute die Eigenschaft besässen, bei Vermischung mit physiologischer Kochsalzlösung grosse Mengen Wasser aufzunehmen, hat Lackschewitz nicht aufrecht erhalten können.

II. Die nunmehr von Lackschewitz vertretene Ansicht, dass im defibrinirten Blute in Folge der Beimischung von physiologischer Kochsalzlösung die Blutkörperchen umgekehrt Wasser und feste Substanzen an die Zwischenflüssigkeit abgeben, also schrumpfen, kann durch die Versuche Lackschewitz's nicht als bewiesen angesehen werden.

III. Die Behauptung, dass in Folge der bei Aderlässen eintretenden Verdünnung des Blutes eine starke Wasseraufnahme von Seiten der Blutkörperchen stattfinde, stützt sich nur auf einen Versuch Lackschewitz's und konnte durch einen zweiten Versuch nicht bestätigt werden.

IV. Die Frage, ob innerhalb des Organismus den Blutkörperchen die von Lackschewitz angenommene Fähigkeit der Wasseraufnahme zukommt, lasse ich vorläufig unentschieden.

Berichtigung.

Von

L. Hermann.

In der Zusammenstellung der Vocalformanten Bd. 58, Seite 270, Zeile 20 und 21 ist leider durch einen Schreib- oder Druckfehler bei *Ae* und *E* der tiefere Formant um eine Octave zu tief angegeben worden. Es muss heissen:

bei *Ae* im Anfang der 2. und in der Mitte der 3. Octave,

bei *E* im Anfang der 2. und am Ende der 3. Octave.

Mancher Leser wird, im Hinblick auf die Tabellen Seite 268 und 269, sowie auf die ursprüngliche, hier im Wesentlichen nur reproducirte Zusammenstellung Bd. 53, S. 43, das Versehen schon selbst bemerkt und corrigirt haben.

Tetanuskranke Tiere.

(Durchgepauste Photographien.)



Fig. 4. Frosch
Allgemeiner Tetanus; wird an den Hinterfüßsen frei schwebend gehalten.

Fig. 2. Maus.
Fortschreitender Tetanus. Geimpftes linkes Hinterbein & linke Schwanzhälfte tetanisch.

Fig. 6. Kaninchen, *an Tetanus gestorben. Extremitäten, Kopf, Rumpf & Schwanz in charakteristischer Haltung. Die geimpfte rechte Hinterpfote am stärksten gestreckt.*



Fig. 7. Hund.
Durchschneidung der linken lumbalen und sacralen hint. Nervenwurzeln. Tetanus im anästhetischen Hinterbeine.

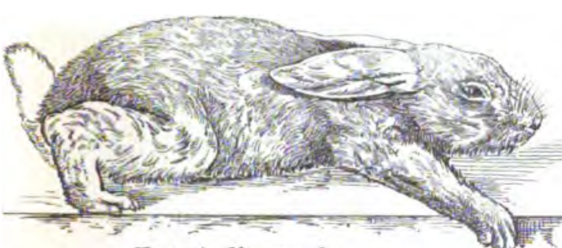


Fig. 1. Kaninchen.
Lokaler Tetanus. Rechtes Vorderbein nur im mittleren Gelenk gestreckt, Fußsgelenk noch schlaff.

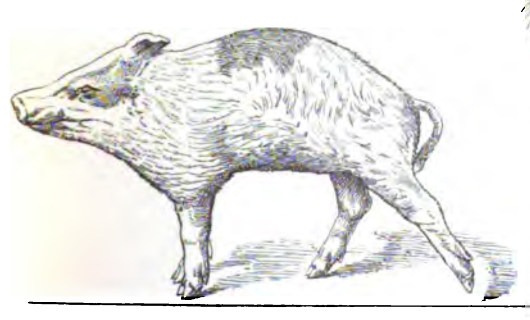


Fig. 3. Schwein
Allgemeiner Tetanus, das geimpfte linke Hinterbein am stärksten gestreckt.



Fig. 5. Meerschweinchen
Jmpfung in den Subduralraum der Lendenanschwellung. Beide Hinter-beine tetanisch. Vorderbeine intakt.

Autogr. v. A. Giltsch, Jena
Verl. v. Emil Strauss



(Aus der medicinischen Klinik in Jena.)

Versuche über die physiologischen Wirkungen des Tetanusgiftes im Organismus.

Von

F. Gumprecht.

Hierzu Tafel I.

Tetanusempfängliche Thiere. Krankheitsbild.

Die grosse Empfänglichkeit der warmblütigen Thiere für das Tetanus-Gift hat es ermöglicht, den in früheren Jahrzehnten enggezogenen Kreis der klinischen Tetanus-Beobachtungen durch experimentelle Studien am Thierkörper wesentlich zu erweitern. Wenn man die bisher tetanisirten Thiere je nach der Empfänglichkeit für das Gift in eine Reihe bringt, so stehen obenan Meerschweinchen, dicht daran Mäuse, Ratten, etwas ferner Ziegen und Kaninchen. Auch der Mensch scheint äusserst empfänglich zu sein.

Der einzige bisher beobachtete Fall von Laboratoriumstetanus betraf, wenn wir von der zweifelhaften Erkrankung Buschke's [1]) absehen, einen französischen Arzt, Nicolas [2]). Dieser stach sich mit der Canüle, mit der er eben eine Tetanuscultur verimpft hatte, in den Finger, bekam nach 4 Tagen Tetanus der Hand, dann des ganzen Körpers, besserte sich nach 21 Tagen und genas.

Dann kommen etwa Pferd, Hund, Katze, Esel, Maulthier, Ochse, Kuh, Hammel, Affe, (Schnell et Bossano [3]), Igel (eigene Beobachtung), Schwein.

Am Schlusse der Reihe kommen einige schwer empfängliche Thiere: Taube (Tizzoni und Cattani), Krähe (Babes und Puscarin), Huhn (Courmont und Doyon), Papagei und einige

1) Deutsche med. Wochenschrift 1893, Nr. 50.

2) Société de biol. Séance. 21. Oct. 1893. — Semaine méd. 1893. p. 486.

3) Des doctrines rélatives au tétanos historique et critique. Travail couronné. Paris. Steinheil, 1891, p. 44.

Meervögel (Verneuil), Frosch; letzterer galt im Winter für refractär, ich habe ihn aber im Februar durch Einsetzen in den Brutschrank empfänglich machen können (s. u.).

Die zunächst folgende Beschreibung gilt dem Typus der Krankheit, wie er namentlich bei hochempfänglichen Thieren in Erscheinung tritt. Die Krankheit sei in 3 Stadien betrachtet:

1. Stadium (lokaler Tetanus): Die Contraction ist beschränkt auf den geimpften Bezirk, auf eine Extremität, auf eine Rumpf- oder Kopfhälfte.

2. Stadium (fortschreitender Tetanus): Die Contraction breitet sich auf die nächstgelegenen Körpertheile aus.

3. Stadium (allgemeiner Tetanus): Starre oder Convulsionen des ganzen Körpers.

Erstes Stadium (lokaler Tetanus).

Subcutane Impfung erzeugt eine Contractur des geimpften Muskelbezirkes, am Gesicht also Verzerrung der geimpften Seite, am Rücken einen Buckel, an der Seite Pleurothotonus. Nach Impfung in einen Schenkel ist das betreffende Bein zuerst leicht abduzirt, im Schenkel bereits steif, im Fussgelenk noch beweglich (Taf. I, Fig. 1). „Wenn man sich überzeugen will, ob die Krankheit schon begonnen hat oder nicht, so fasst man die Maus an der Schwanzspitze und hebt sie hoch. Ist sie krank, so hält sie die Beine unsymmetrisch, das gesunde Bein streckt sie gerade aus, das kranke hält sie gekrümmt (Kitasato[1]). An Kaninchen, die mit schwachen Dosen geimpft sind, lässt sich dieses Stadium noch weiter detailliren; zuerst scharrt das Kaninchen mit dem geimpten Hinterfusse beim Laufen aus, als ob der Fuss auf glattem Boden ausglitte. Dann wird der Schenkel leicht abduzirt und beim Laufen nicht aufgesetzt, durch leichte Dorsalflexion im Fussgelenk oder auch spontan entsteht Fussclonus. Das Bild erinnert lebhaft an den durch Exstirpation der betreffenden motorischen Rindenregion hervorgerufenen Zustand, es ist eine spastische Parese eines Beines. (Einer meiner Hunde hatte 24 Stunden lang neben der Contractur anhaltenden Tremor des geimpften Beines.) Allmählich wird die Contractur des Beines stärker, die Streckung nach hinten deutlicher, die Zehen werden gespreizt, die Fusssohle ist nach oben

1) Zeitschrift f. Hygiene X, 1891, p. 273.

gekehrt. Einträpflung des Giftes in den Conjunctivalsack bewirkt Krampf der Lidspaltenmuskeln (Sanchez Toledo et Veillon, Brunner). Impfung in Nervenstämme oder Subduralraum des Hirn's wirkt wie die entsprechende subcutane Inoculation, löst also Tetanus des entsprechenden Beines bezw. Facialis-Gebietes aus. Man soll selbst einen einzelnen Muskel tetanisiren können (Courmont und Doyon).

Während der folgenden Stadien nimmt die primäre Contractur an Heftigkeit zu (Fig. 3 u. 6); nach kleinen Dosen bleibt sie einige Wochen bis Monate bestehen und geht in Heilung über. Die allgemeine Vergiftung verräth sich im ersten Stadium nur durch eine grössere Unruhe der Thiere, hastiges Weglaufen, Schreien bei Berührungen, Zusammenzucken bei Geräuschen. Gewöhnlich folgt dann:

Das zweite Stadium, der fortschreitende Tetanus, characterisirt durch Ausbreitung der Starre auf angrenzende Körpertheile.

Von dem geimpften Hinterbein aus wird bei Mäusen fast stets zuerst der Schwanz ergriffen. Schon sehr früh, wenn noch kaum das geimpfte Hinterbein sich gestreckt hat, verliert sich die Schmiegsamkeit des Schwanzes, der zuerst glatt nach hinten gestreckt, bald nach der geimpften Seite steif herübergezogen wird (Fig. 2) oder fortwährend einen Reif schlägt. Meist kommt dann das andere Hinterbein daran; während Schwanz und Hinterbein starr gestreckt sind, kann sich das Thier noch behende mit den Vorderbeinen vom Flecke bewegen und mit Behagen fressen. Bei kurzschwänzigen Thieren erkennt man das Fortschreiten des Tetanus zunächst an dem zweiten Hinterbein. Die Ausbreitung kann vom Hinterbeine aber auch seltener auf die gleiche Rumpfseite und das Vorderbein erfolgen, das ist das Bild des halbseitigen Tetanus, wie er meist durch Impfung auf einer Rumpfseite hervorgebracht wird und zu spitzwinkliger Abknickung der Körperachse führen kann. — Eine Maus mit Tetanus des rechten Hinterbeines, der rechten Schwanz- und Rumpfhälfte läuft auf der Stelle im Kreise herum, als ob sie sich in den Schwanz beissen wollte. — Der Facialiscontractur folgt Steifheit der Vorderbeine, manchmal nur desjenigen der geimpften Seite.

Das dritte Stadium

ist durch allgemeine Krämpfe gekennzeichnet. Es kann gelegentlich vor dem zweiten einsetzen; z. B. ein Meerschweinchen mit

Contractur eines Beines wirft sich mitten beim Fressen plötzlich auf die Seite, wird einige Sekunden von heftigen Krämpfen geschüttelt und frisst dann ruhig weiter. Bald aber werden die Krämpfe intensiver und länger dauernd, die Athmung sistirt während dessen. Das Thier, das sich vorher ängstlich verkrochen hatte, liegt nun, unfähig sich zu bewegen, auf einer Seite, im ganzen Körper steif, fortwährend von Convulsionen geschüttelt. An hellgefärbten Schnauzen erkennt man die Cyanose, die Inspiration erfolgt mit weit aufgesperrten Nasenlöchern, bleibt aber flach. Die Temperatur ist, wenn auch nicht konstant (Sanchez Toledo et Veillon), so doch meist nicht erhöht, oder ist erniedrigt (Bossano [l. c.], Brunner [1]), Tizzoni und Cattani) [2]), Harnack und Hochheim [3]). Ich notirte im schweren Tetanus des Hundes 39,3° (etwa normal), bei Kaninchen 38,7; 38,3; 36,6; 28,4 (!); bei Meerschweinchen 35,5, also meist subnormale Temperaturen. Eine so gewaltige Temperaturerhöhung, wie sie Leyden [4]) (5°) und Billroth und Fick [5]) durch elektrische Tetanisirung hervorgerufen haben, wurde beim experimentellen Tetanus bisher stets vermisst. Der menschliche Tetanus, der oft febril verläuft, beruht häufig auf Mischinfection. — Der Tod erfolgt entweder im Krampfanfalle (Kaninchentypus), oder nach längerer tiefster Prostration ohne Krämpfe (Mäusetypus).

Abweichungen von diesem Typus bietet vor allem der Mensch dar, bei dem der Tetanus meist mit Trismus einsetzt; in vielen Krankengeschichten ist aber auch der locale Tetanus des verwundeten Gliedes erwähnt (s. u.). Aehnlich steht es mit dem Pferde. Der Frosch bekommt nie einen localen Tetanus, sondern wird in toto starr, so dass man ihn an den Hinterfüssen in horizontaler Schwebe halten kann (Taf. I, Fig. 4); über den starren Körper ziehen bei der leisesten Reizung Convulsionen hin. Dem Eintreten der Starre geht beim Frosche häufig eine reine Parese ohne Spasmen voraus. Jedes Thier bekommt, in's Blut geimpft, ausschliesslich generellen Tetanus.

---

1) Beiträge z. klin. Chirurgie. IX, 1892.
2) Archiv exp. Pathol., XVII, 1890, p. 432.
3) Zeitschrift f. klin. Med., XXV, p. 46.
4) Virchow's Arch. XXVI.
5) Vierteljahrsschrift der naturforsch. Gesellsch. in Zürich. 8. 1863.

Historisches und Kritisches.

Der Tetanus wurde vor der Entdeckung des Bacillus allgemein zu den Neurosen[1]) gerechnet. Aber schon damals spalteten sich die Bearbeiter dieser Krankheit in zwei Lager, indem die einen die anatomischen Veränderungen in einer Neuritis peripherer Nerven (Curling, Froriep, Jobert, Maurange, Monastrynsky, Parker), die anderen in Erweichungen und Hämorrhagieen, Sclerose und Degeneration des Centralorgans (Chelius, Demme, Gimelle, Guérin, Hanke, Hobart, Lockhard-Clarke, Morrod, Rockitansky, Stafford, Thompson, Zuffi), noch andere endlich in beiden zugleich zu finden glaubten (Clifford Albutt, Billaud, Finkh).

Wie in England die Untersuchungen von Curling über Neuritis bei Tetanus, so beherrschten in Deutschland die Anschauungen Rockitansky's und Demme's[2]) geraume Zeit die wissenschaftliche Forschung über den Tetanus.

„Die Bindegewebswucherung — sagt Demme —, welche als constantes anatomisches Substrat beim Tetanus vorzukommen scheint, charakterisirt sich vorzugsweise durch ihr diffuses Auftreten und durch ihre ausgedehnte Verbreitung." Der Autor fühlt aber selber, dass die Bindegewebswucherung denn doch nicht ausreichend sei, um die Erscheinungen des Tetanus zu erklären; er salvirt sich deshalb am Schlusse seiner Arbeit mit einigen Sätzen wie: „Wir müssen uns freilich auch hier von dem verführerischen Schlusse post hoc ergo propter hoc hüten" etc. „Die in der Leiche aufgefundene Bindegewebswucherung als solche ist wohl nur in seltenen Fällen als primäre Ursache der im Leben beobachteten nervösen Symptome zu betrachten."

Die Rockitansky-Demme'sche Lehre wurde denn auch durch Leyden's berühmte Schrift widerlegt. Leyden[3]) erklärte die beim Tetanus vorgefundenen Veränderungen des Centralnervensystems für normale oder nebensächliche Befunde. Er wusste noch

---

1) cf. Ziemssens Handbuch 1877. Bd. XII. 2. Bauer, Tetanus.

2) H. Demme, Beiträge zur pathol. Anat. des Tetanus. Leipzig und Heidelberg 1859.

3) Virchow's Arch. XXVI.

nichts von dem bacillären Ursprung, aber er stand doch schon damals auf dem auch heute noch geltenden Standpunkte, den Tetanus von einer rein functionellen Rückenmarksreizung ohne anatomisches Substrat abhängig zu machen.

Die ganze Periode der Medizin vor der Entdeckung des Tetanusbacillus hat aber für die Erklärung der eigentlichen Pathogenese des Leidens so gut wie nichts geleistet. War man doch ausschliesslich auf die sporadischen Tetanusfälle beim Menschen angewiesen, der, wie wir jetzt wissen, vielfache Abweichungen von dem sonstigen Krankheitsbilde zeigt.

Erst seit der ersten Uebertragung des Tetanus auf Thiere durch Carle und Rattone[1], 1884, später durch Nicolaier[2]) und seit der Reinzüchtung des Tetanusbacillus durch Kitasato[3]) (1889) ist eine pathologische Physiologie der Krankheit überhaupt möglich geworden.

Seit den ersten Thierversuchen weiss man nun, dass der Tetanus sich zuerst in der geimpften Region lokalisirt. Schon Nicolaier sagt: „wenn man Kaninchen an der Schwanzwurzel impft, so tritt, nach einem Wohlbefinden von ungefähr 4—5 Tagen, an einer hinteren Extremität und zwar an der, welcher die Impfstelle zunächst liegt, eine geringe Abduction und Streckung auf, die sich im Laufe von 6—12 Stunden zu vollständiger Starre steigert. Darauf wird die andere hintere Extremität befallen, dann die vorderen Extremitäten, schliesslich entwickeln sich die tetanischen Contractionen in den Nacken- und Rückenstreckern".

Welche physiologischen Bedingungen aber nothwendig sind, um diesen eigenthümlichen lokalisirten Krampf erscheinen bezüglich verschwinden zu lassen, wo der Angriffspunkt des Giftes im Körper sitzt, und anderes mehr, das wurde erst in neuester Zeit in den Bereich des Versuches gezogen. Wie wenig Aufmerksamkeit man der physiologischen Erklärung zuwandte, das zeigten die Worte, die sich in Verhoogen und Baert's[4]) 1890 gekrönter Preisschrift in dem Capitel Mécanisme suivant lequel se produit

---

1) Giorn. della Acad. di med. di Torino 1884., fasc. 3, Cit.

2) Deutsche med. Wochenschrift 1884, Nr. 52.

3) Zeitschrift f. Hygiene VII, 1889.

4) Prem. récherches sur la nature et l'étiologie du tétanos. Bruxelles. Lamertin 1890.

l'evolution du tétanos (p. 87) finden: „Ce poison, qui n'existe primitivement q'au pourtour de son foyer d'élaboration, est à mésure que sa production s'accroît, entraîné par le courant circulatoire et se répand dans tout l'organisme et sous son influence le système nerveux tout le premier entre dans cet état d'excitabilité réflexe extraordinaire, qui se traduit par des spasmes musculaires toniques primitivement chroniques ensuite.“

Tizzoni und Cattani[1]) streifen diese Fragen; es ist ihnen bekannt, dass die Starrheit des operirten Gliedes ausbleibt, wenn die Nerven desselben durchschnitten sind.

Einen Baustein zu dieser Lehre brachten ferner Vaillard et Vincent[2]): „Il nous serait difficile, d'établir déjà la physiologie phathologique de l'intoxication tétanique; nous nous bornerons à poser ici les questions qu'elle soulève.“ Sie setzen nun auseinander, dass Rückenmarkszerstörung die Krämpfe in den zugehörigen Extremitäten verschwinden bezw. überhaupt nicht auftreten lässt, und dass le tétanos n'intéresse pas les groupes musculaires dont les nerfs ont été sectionés. Wenn diese Thatsachen die Autoren zwar an das Rückenmark als Sitz der Läsion denken lassen, so wird eine solche Annahme doch nicht acceptirt, da die medulläre Theorie einige Punkte nicht aufklärt, als da sind: le début constant de la maladie par les muscles intéressés dans l'inoculation ou les plus voisins du point infecté; l'extension hémilatérale des symptomes du côté inoculé, et parfois leur limitation absolue du tétanos à un groupe de muscles, lorsque le dose de toxine, injectée dans un membre, est extrêmement faible .... La toxine se comporte alors comme un poison musculaire.

Schnell et Bossano[3]) 1891 stellen eine „theorie nerveuse du tétanos“ auf, die im Wesentlichen richtig ist: „Le tétanos serait dû à une excitation exagérée de la substance grise de la moelle. Cette excitabilité serait fonction soit de lésions matérielles du myelencéphale soit de perturbations dynamiques des cellules dans les cas, où les lésions font défaut.“ Sie mühen sich aber dann in langer Arbeit ab, diese Theorie zu Gunsten der „théorie

1) Arch. exp. Pathol. u. Pharm. XVII, 1890, p. 432.

2) Contribution à l'étude du tétanos. Annal. de l'inst. Pasteur, 1891, p. 1

3) Des doctrines rélatives au tétanos historique et critique. Paris. Steinheil, 1891. Travail couronné.

infectieuse" umzustossen. Dass die perturbations dynamiques des cellules durch die Infection selber hervorgebracht sein könnten, kommt ihnen nicht in den Sinn.

Was ausser diesen mehr gelegentlichen Beobachtungen über eine planmässige Analyse der Einzelsymptome des Tetanus existirt, ist ein Product der letzten Jahre. Das Verständniss der merkwürdigen Krankheit ist uns dadurch wenn auch nicht völlig erschlossen, so doch erheblich näher gerückt.

Die ausgezeichnete Arbeit Brunner's[1]) und dessen kleinere Mittheilungen[2]) schlugen sofort den richtigen Weg ein. Brunner, der damals fast ausschliesslich über Kopftetanus experimentirte, erschloss zunächst, dass Curare die Krämpfe verschwinden lässt, sowie dass das Tetanusgift keine Gesichtskrämpfe hervorzurufen vermag, wenn der Facialis durchschnitten ist, dass das Fehlen des Gross hirns keinen Einfluss auf den Gesichtstetanus ausübt und dass die Anästhesirung des Gesichts durch intracranielle Trigeminus-Durchschneidung (Operateur Gaule) das Zustandekommen der Gesichtscontractur auf der operirten Seite nicht hindert.

Nur in den Schlüssen, die Brunner aus diesen an sich ganz sicheren Versuchen zieht, scheint er mir von dem Wege, den er Anfangs betreten, abzuweichen. Zunächst heisst es zwar, „dass das Toxin nur auf die betroffenen Nervenäste (nämlich der Impfstelle) einwirkend in diesen zum Stamm des Facialis geführt wird, innerhalb dieses letzteren isolirt zum Centralorgan aufsteigt und dort nur einzelne, diesen Zweigen zugeordnete Ganglienzellen erregt." Dann aber schleicht sich die zuerst zurückgewiesene Hypothese der peripheren Natur der Tetanus-Krämpfe allmählich wieder in die Deutung hinein. „Weniger complicirt und mit Umgehung des Postulats, nach welchem den peripheren Nervenstämmen eine besondere Leitungsfähigkeit für das tetanische Gift zukommen würde, lassen die initialen localen Krämpfe sich durch die Annahme erklären, dass das Gift nach seiner subcutanen Application zunächst die Endplatten der motorischen Nerven direct in den Erregungszustand versetzend den lokalen Krampf peripher bewirkt und hernach in einem folgenden Stadium durch das Blut

---

1) Bruns, Beiträge f. klin. Chir. IX. 1. 1892.

2) Berl. klin. Wochenschrift 1891, Nr. 36. — D. Ztschr. f. Chir. XXX.

den Centralorganen zugeführt, von diesen aus centrale Krämpfe auslösen würde."

Hier ist die periphere Natur der Krämpfe, die oben durch die Versuche der Nervendurchschneidung ausgeschlossen war, ganz offen wieder aufgenommen; es ändert auch wenig an der Sache, wenn die periphere Natur der Erkrankung nur als „periphere Disposition zu centraler Erregung der Krämpfe" aufgefasst wird: „indem bei Impfung im Facialisgebiet das Gift peripher nach der entsprechenden Halsseite sich verbreitet, wird zunächst hier die Veränderung in den Cervicalnerven ausgeübt, welche die Centren des Halsmarks für die Wirkung des vom Blut zugeführten Giftes empfänglich macht, und so kann der Krampf nur auf solche Gebiete sich ausdehnen, in denen das Gift peripher sich ausbreitet." Es ist gegenüber einer solchen Erklärung durch periphere und centrale Doppelwirkung vor allem einzuwenden, dass die periphere Ausbreitung eines löslichen Giftes über den ganzen Körper sich schlechterdings nicht mit unsern sonstigen physiologischen Vorstellungen vereinigen lässt: Ein lösliches Gift, das an irgend einer Stelle subcutan injicirt wird, geht rasch in das Blut über und wird, soweit es in den peripheren Lymphgefässen noch verbleibt, nach den zugehörigen Lymphdrüsen und grösseren Lymphstämmen geführt, also im allgemeinen auf dem kürzesten Wege zur Körperachse. Eine Lymphleitung, die peripherwärts von den Schenkeln bis zum Kopfe führte, ist anatomisch und physiologisch nicht anzunehmen.

Trotz alledem ist die Frage seit Brunner nicht wesentlich mehr gefördert durch seine Nachfolger, von denen die deutschen in einer kleineren Mittheilung eine Bestätigung der Brunnerschen Versuche brachten, die französischen durch abweichende Versuchsergebnisse eine neue Deutung des Tetanus zu geben versuchten.

Buschke[1]) schliesst aus Froschversuchen, dass das Tetanusgift nicht auf die Muskulatur direct wirkt (Curareversuch), auch nicht auf die motorischen Nerven (Ischiadicus-Durchschneidung, Rückenmarkszerstörung) und auch nicht vom Gehirn. In diesen Versuchen ist der lokale Tetanus, der beim Frosche vollständig fehlt, ausserm Spiel geblieben; gerade dieser bietet aber die meisten Räthsel.

1) Buschke u. Oergel, Deutsche med. Wochschr. 1893. Nr. 7.

Autokratow[1]) bringt zum ersten Male die neue Annahme, dass das Tetanusgift auf die peripheren Endorgane der sensiblen Nerven wirkt.

Das Beweismaterial für diese ganz neue, an sich nicht wahrscheinliche Hypothese ist Folgendes: Es werden zunächst die methodologisch unerlässlichen Durchschneidungsversuche am Rückenmarke und den Nervenwurzeln gemacht: Durchschneidung des Rückenmarks oberhalb der Lendenanschwellung verhindert oder behebt den Tetanus der Hinterextremitäten nicht, dagegen verschwindet derselbe nach Durchschneidung des Marks in der Lendenanschwellung, nach Durchschneidung aller zugehörigen Nervenwurzeln, der peripheren Nerven, der motorischen Wurzeln allein und der sensiblen Wurzeln allein. Dieses letzte Ergebniss, dass die lokale Contractur nach Durchschneidung der zur tetanischen Extremität gehörigen sensiblen Nervenwurzeln verschwindet, ist die Grundlage für die neue Hypothese einer irritation des bouts périphériques des nerfs sensibles, und wird selbst aufrecht erhalten, nachdem eine Enthäutung der tetanischen Extremität, also eine namhafte Reduzirung der peripheren sensiblen Endigungen, ohne Wirkung auf die Contractur geblieben war.

Die nun folgende Untersuchung von Courmont et Doyon[2]), deren Resultate durch fast gleichzeitige Publicirung an den verschiedensten Stellen schnell bekannt wurden, ist zwar ausführlicher und eleganter, als die vorgenannte, kommt aber zu ähnlichen Schlüssen. Der Gang der Untersuchung ist der, dass nacheinander ein Theil des Reflexbogens (Muskel, motorische Bahn, Centrum, sensible Bahn) durch die verschiedensten Einwirkungen (Curare, Nerven und Markdurchschneidung, Chloroform) ausgeschaltet wird. Das experimentum crucis, die Durchschneidung der hintern sensiblen Wurzeln einer Extremität, ergibt hier merkwürdiger Weise dasselbe Resultat, wie bei dem Vorgänger, der Tetanus verschwindet bezw. er tritt überhaupt nicht ein. Die Schlussfolgerungen der Arbeit differiren an verschiedenen Stellen bedeutend, bald heisst es: „la contracture du tétanos n'est qu'un réflexe“, bald „les

---

1) Archif de méd. exp. 1892, p. 708.

2) Congrès de physiol. août 1892. Arch. phys. norm. et path., 1893. Heft 1. Soc. de biol., 1893. Province méd., 1893, Nr. 3—7. Compt. rend., Bd. 116, 1893, p. 593.

contractures tétaniques sont le fait d'un réflexe produit par l'action du poison tétanique sur les extrémités périphériques des nerfs sensitifs", bald endlich „le poison tétanique ne modifie pas l' excitabilité des nerfs moteurs. Il agit comme il s'addressait au système sensitif." Diese drei Möglichkeiten decken sich durchaus nicht untereinander.

Endlich hat Brunner[1]) seine frühern Studien über Kopftetanus jetzt auch auf andere Formen dieser Krankheit ausgedehnt und namentlich den wichtigen Versuch der Durchschneidung der hintern sensiblen Nervenwurzeln einer Extremität mit nachfolgender Impfung in dieselbe ausgeführt, bezw. durch Gaule ausführen lassen und hat positiven Erfolg gehabt.

Gleichzeitig mit ihm verfolgte ich die Wirkung dieses Experimentes im Verlaufe meiner Tetanus-Studien und konnte kurze Zeit darauf[2]) einen kurzen Bericht meiner Versuche veröffentlichen, unter anderem auch über die erfolgreiche Verimpfung des Tetanus auf die anästhesirte Hundepfote berichten.

Courmont und Doyon[3]) halten ihre alten Angaben aufrecht und resumiren die neueste Literatur darüber mit den Worten: „Autokratow á Paris, Brunner en Allemagne sont arrivés aux mêmes résultats"[4]). Die sensiblen Wurzeln der tetanischen Seite sollen nach neu angestellten Versuchen viermal reizbarer sein als die der gesunden Seite, und es soll nach Reizung ersterer der Blutdruck stärker steigen.

Soeben erschien dann noch der Aufsatz von Goldscheider[5]). Goldscheider hält die Annahme einer Leitung des Giftes selbst zum Centralorgan für unnöthig, der lokale Tetanus des geimpften Beines entstehe durch die periphere Affection des „Neurons" (Vorderhornzelle und motor. Nerv). — Warum der Tetanus aber auf die Neuronen der zunächst benachbarten Körpertheile übergeht, wird nicht gesagt.

---

1) Deutsche med. Wochschr., 1894, Nr. 5.

2) Zur Pathogenese des Tetanus. Deutsche med. Wochenschrift, 1894, Nr. 26.

3) Province méd., 1894, Nr. 14.

4) Brünner (i. e. Brunner) lebt aber in Zürich und ist zu gerade entgegengesetzten Resultaten gekommen.

5) Zeitschr. f. klin. Med., 1894.

Es wird unsere Aufgabe sein, wenn wir zu einer endgültigen Lösung der in der Literatur vorhandenen Widersprüche gelangen wollen, die Tetanusversuche nach physiologischer Methodik vollständig durchzuführen, ohne Rücksicht darauf, ob sie Neues oder Bekanntes ergeben. Ein Theil der Aufgabe wird auf analytischem Wege durchzuführen sein, sofern es gilt, aus der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen das zu Grunde liegende Prinzip, den Angriffspunkt des Tetanus-Giftes, im Organismus zu isoliren. Dann soll auf wesentlich synthetischem Wege eine Erklärung der Tetanuserscheinungen, aus diesem Prinzip heraus, versucht werden. Da die Erklärung des lokalen Tetanus den grössten Raum einnimmt, so ist sie als ein eigenes Capitel herausgenommen, und erst nach Erledigung derselben folgt die rationelle Darstellung der gesammten Tetanuskrankheit. Bevor wir aber über die Versuche berichten, müssen wir über die zur Herstellung des Tetanusgiftes von uns angewandten Methoden Rechenschaft ablegen.

Herstellung der Culturen und des Giftes.

Die Prägnanz der physiologischen Erscheinungen hängt wesentlich ab von der Virulenz der Culturen. Es wurden verwendet Agar, Gelatine und Bouillon. Agarculturen wachsen schneller als Gelatine, — langsamer als Bouillonculturen; alte wirksame Culturen sind durch grosse Gaszwischenräume in mehrere Theile gespalten, oder von feinen Gasblasen völlig durchsetzt; beim Abimpfen bevorzugt man die dem Glase anliegende äusserste Peripherie der Walze, welche eine dichte Schicht von Bacillen enthält. Die Agarculturen sind die wirksamsten; sie würden hiernach und nach der Bequemlichkeit, mit welcher man — durch Benutzen hoher Schichten — der Anaërobiose des Tetanusbacillus Rechnung tragen kann, unbedingt den Vorzug erhalten, wenn nicht der Erlangung eines bacterienfreien Filtrats so grosse Schwierigkeiten entgegenständen. Wo es aber auf die Dosirung des Giftes und seine schnelle Löslichkeit nicht ankam, wurden sie verwendet. Gelatine ist weniger vortheilhaft. Hohe Reagenzglas-Schichten wurden ausgekocht und geimpft; aber trotz aller Cautelen wird nicht immer ein Wachsthum der Bacillen herbeigeführt. Da die

Gelatine (von unten nach oben) durch den Tetanusbacillus verflüssigt wird, so eignet sie sich gut zum Injiciren, während man den Agar durch Schnitt unter die Haut bringen muss. Aber das Abfiltriren der Bacterien ist auch hier mit Schwierigkeiten verbunden und erfordert grosse Geduld. Zudem ist Gelatine nicht auffällig giftiger als Bouillon, etwas giftiger mag sie — wie Fermi und Celli[1]) wollen — gewiss sein.

In der Mehrzahl wurden Bouillonkulturen verwendet, deren Herstellung allerdings zu manchen üblen Zufällen Anlass gibt und mehr Sorgfalt erfordert als die beiden vorangehenden. Als Athmosphäre wurde nach Fränkels[2]) Art Wasserstoff benutzt, der aus einem Kipp'schen Apparat entwickelt und durch eine dünne Silbernitratlösung — zur Absorption des AsH_3 — geleitet wurde. Das Gas wurde durch eine rechtwinklig gebogene und im Verlaufe des horizontalen Theils fein ausgezogene Glasröhre bis auf den Boden der Culturflasche geführt; der Gummistopfen, der die Flasche verschloss, und der durchweg noch mit einer Schicht Paraffin überzogen war, trug doppelte Bohrung, nämlich ausser für die zuleitende Gasröhre noch eine für die kurze ableitende Röhre, die ebenfalls rechtwinkelig abgebogen und ausgezogen war. Der H wurde ca. 10 Minuten lang durchgeleitet unter Umschütteln der Bouillon, dann wurde er vorsichtig an der ableitenden Oeffnung angezündet, wo er ruhig ohne Explosionsgeräusch brennen muss, der Hahn des Kipp'schen Apparats wurde nun fast zugedreht, so dass der Gasstrom ein sehr langsamer wurde, und der horizontale Schenkel der abführenden Röhre an der ausgezogenen Stelle abgeschmolzen; manchmal zischte dann der H durch eine Lücke des schmelzenden Glases heraus, was zur Wiederholung der Procedur nöthigte. Ist die Zuschmelzung vollendet, so darf bei erneutem Aufdrehen des Hahnes kein Gas mehr ausströmen — eventuell revidirt man die Paraffindichtung des Stopfens.

Ist die Dichtung zuverlässig, so wird das zuführende Gasrohr ebenfalls an der ausgezogenen Stelle abgeschmolzen. — Will man später die fertige Kultur eröffnen, so sprengt man die Spitze des kurzen Röhrchens ab und prüft an der davorgehaltenen Flamme,

1) Zeitschr. f. Hygiene XVI, 1894.
2) Centralbl. f. Bact., 1888, p. 735.

ob auch der *H* auszischt. Nach 2 × 24 Stunden trübt sich die Bouillon deutlich; schüttelt man, so wirbeln die Bacillen als feine, langgezogene Wolkenschleier vom Boden auf, gröbere Trübungen, die isolirt wie Sandkörner oder wie Schneeflocken durcheinanderwirbeln, beruhen auf Verunreinigung, die auch dem Geübten öfters begegnet. Das Wachsthum verschiedener Kulturen ist ungleichmässig ohne ersichtlichen Grund. Alte Kulturen sehen aus wie cystitischer Urin, leicht getrübte, gelbe Flüssigkeit mit dickem, weissen, zähschleimigen Bodensatz. Ein Theil verdarb uns, weil das Zink im Kipp'schen Apparat Arsenwasserstoff mit abgab, ein anderer Theil, weil der Thermoregulator des Brutschrankes nicht sicher functionirte und zeitweilig Temperaturen bis 40° zuliess, bei anderen Culturen sprangen die Röhren an der Umbiegungsstelle, bei andern wurden die Gummistopfen herausgeschleudert, die immer mit einem Faden gesichert sein sollten. Zuweilen wurden, wie es auch Kitasato[1]) begegnete, die ganzen Flaschen durch den Druck der von den Kulturen entwickelten Gase zertrümmert. Die zum Filtriren fertige Kultur wurde stets mikroskopisch auf ihre Reinheit geprüft. Zuweilen genügten einige Blicke, um Gewissheit über den Mangel von Verunreinigungen zu verschaffen. Zuweilen hat es aber auch grosse Schwierigkeiten, da manche Culturen ein ausserordentlich buntes Bild darbieten: Die Sporen liegen theils endständig den Bacillen an, theils liegen sie frei umher; sie färben sich meist heller als die Bacillen; nicht selten ist eine Cocardenform der Sporen mit dunklem Centrum, auch grosse Kugeln von dem Durchmesser des ganzen Bacillus kommen vor (Involutionsformen?), ebenso kugelige und ovale Sporen; (Tizzoni[2]) unterscheidet nach der Form der Sporen zwei verschiedene Arten von Tetanus-Bacillen.

Die Bacillen selbst sind von sehr verschiedener Dicke, zuweilen fast alle sporenfrei, zuweilen zu langen Fäden ausgewachsen, welche ihrerseits ein gegittertes Aussehen haben können, fast wie Coccenketten. Belfanti und Pescarolo haben sogar geglaubt, den Tetanusbacillus durch aerobe Entwicklung in eine Coccenform umzüchten zu können[3]). Schöne Bilder von diesem Polymorphis-

---

1) Zeitschr. f. Hygiene VII, 1889.

2) Tizzoni u. Caffani, Rif. med., 1889. cit.

3) cf. Baumgarten, Jahresber. 1888, 1889.

mus des Tetanusbacillus findet man bei Karg und Schmorl[1]), wogegen die Bilder bei Fränkel und Pfeifer[2]), Sternberg[3]), Günther[4]), einfacher sind. Vincenzi[5]) hat der Morphologie dieses Bacillus eine eigene Studie gewidmet.

Zum Filtriren der Bouillonkulturen wurden zuerst Berkefeld-Filter, später die Ponkall'schen Porzellanfilter (aus der königlichen Manufactur in Berlin) angewandt; beide arbeiteten gut, aber nur in der allerersten Zeit rasch. Mit einer Wasserluftpumpe wurde das Filtrat durchgesaugt, eine dazwischen geschaltete Flasche verhütete das Zurückfliessen des Wasserleitungswassers in das Filtrat. — Die Virulenz des Filtrats wurde durch Verimpfung von 0,2 ccm an einer Maus geprüft. Ueberlebt die Maus diese Impfung um mehr als 36 Stunden, so ist das Filtrat unbrauchbar, aber selbst, wenn die Maus in 24—36 Stunden zu Grunde geht, so kann doch das Gift bei etwas widerstandsfähigeren Thieren, wie Kaninchen und Hunden, versagen. Die Giftigkeit scheint durch das Filtriren stets ein wenig zu leiden. Das Filtrat wird, in Reagensgläser vertheilt, in den Eisschrank gestellt. Verunreinigungen laufen leicht unter, namentlich bei etwaigem Abgiessen, und vernichten die Virulenz des Filtrates bald.

Der Angriffspunkt des Tetanusgiftes.

Wenn wir die auffallendste Erscheinung der Wirkung des Tetanusgiftes herausgreifen, so ergiebt sich, dass unter der Einwirkung eines sensiblen Reizes ein Krampf ausgelöst wird. Es tritt also der bekannte Reflexbogen, sensible Bahn, Centralorgan, motorische Bahn, in Wirkung. Wir wollen durch Ausschaltung aller zugehörigen Elemente festzustellen versuchen, welcher Theil dieses Reflexbogens der afficirte ist.

---

1) Atlas der patholog. Gewebelehre in mikrophotogr. Darstellung. Leipzig 1893.

2) Mikrophotograph. Atlas der Bacterienkunde, Taf. XXV.

3) Manual of bacteriology, New-York 1892, Wood.

4) Einfg. in d. Studium d. Bacteriologie. Leipzig 1891.

5) Rif. med. 1893. cf. Ctrlblatt Bact. XIV, p. 149.

Der Muskel unter der Einwirkung des Tetanusgiftes.

Als Mittel, den Muskel unter der Einwirkung des Tetanusgiftes isolirt zu beobachten, bieten sich zunächst die Kurare-Vergiftung und die Durchschneidung des zugehörigen Nerven. Die Kurare-Vergiftung lässt ein alsbaldiges Aufhören der tetanischen Krämpfe erkennen.

Versuch 1. 10. 7. 1893. Frosch vor 5 Tagen mit filtrirter Tetanus-Bouillon, 0,3 ccm geimpft. Seit heute deutlich tetanisch. Kurare-Injection 0,1 ccm, nach wenigen Minuten hört der Tetanus vollständig auf und der Frosch ist völlig gelähmt.

In ganz gleicher Weise lässt die Nervendurchschneidung die tetanischen Krämpfe aufhören. Es sei dies zuerst bei einem Versuche am Kaltblüter gezeigt:

Versuch 2. 11. 7. 1893. Frosch vor 6 Tagen mit 0,3 ccm filtrirter Tetanus-Bouillon geimpft, deutlich tetanisch. Durchschneidung des linken Nervus ischiadicus. Die Krämpfe im linken Bein hören sofort auf. Durch Kneifen des Beines wird auch im übrigen Körper kein Streckkrampf ausgelöst, wohl aber durch Kneifen irgend einer andern Hautstelle.

Der Tetanus verschwindet also beim Frosche nach Durchschneidung des zum Muskel gehörigen Nerven momentan. Diese Erscheinung findet sich nicht nur beim Kaltblüter, sondern auch beim Warmblüter kann man wenigstens soviel sagen, dass der Tetanus ausbleibt, wenn vor der Impfung der Hautnerv einer Extremität zerschnitten ist. Folgende Versuche dienen zur Illustrirung dieses Satzes:

Versuch 3. 17. 12. 1893. Zwei Kaninchen: Nr. 1, unoperirt, erhält 0,5 ccm filtrirter Tetanus-Bouillon-Cultur. 21. 12. Gesteigerte Reflexe des injicirten rechten Hinterbeines. Beim Laufen scharrt die rechte Hinterpfote nach hinten aus, als wenn sie auf glattem Boden ausglitte, und verbleibt Wochen hindurch in diesem Zustande.

Bei Nr. 2 werden die Nervi ischiadicus, cruralis und obturatorius möglichst weit oben entfernt und die enervirte Pfote mit *1,5* ccm derselben Cultur geimpft. 20. 12. Grosse Hinfälligkeit, in der Nacht todt. Symptome von Tetanus haben sich nicht gezeigt.

Es bleiben aber gegenüber diesem Versuche Einwände, und ein Versuch bei Meerschweinchen verläuft prägnanter:

Versuch 4. 14. 6. 94. Zwei Meerschweinchen. Nr. 1, unoperirt. Nr. 2, Chloralnarcose. Nervus ischiadicus und cruralis dexter werden ent-

fernt (der ischiadicus durch Ausreissung, der cruralis, nachdem Nerv und Gefässe abgebunde nsind, vermittelst Durchschneidung). 0,5 ccm Tetanus-Reincultur werden am 16. 6. in das rechte Hinterbein injicirt. Die durch Naht geschlossenen Wunden sind in dieser Zeit in voller Heilung. Der Unterschenkel ist complet gelähmt und anästhetisch. — 17. 6. kein Tetanus. Am Nachmittag desselben Tages schwerer allgemeiner Tetanus. Steifheit des ganzen Körpers und Streckkrämpfe mit starker Dyspnoe verbunden. Am ganzen Körper ist nur der rechte Unterschenkel schlaff, er nimmt nicht an den allgemeinen Krämpfen Theil und lässt sich leicht hin und her bewegen; er contrastirt deshalb in sehr auffälliger Weise gegen den oberen Theil der Extremität, welcher durch die tonisch starre Muskulatur völlig steif gehalten wird. Tod gegen 5 Uhr Nachmittags. Der rechte Oberschenkel wenige Minuten nach dem Tode todtenstarr, der rechte Unterschenkel bleibt lange Zeit völlig beweglich.

Das Controlmeerschweinchen hatte schon am 17. 6. deutlichen lokalen Tetanus und ging (beiläufig etwas rascher) unter allgemeinem Tetanns zu Grunde.

Wenn nach diesen Versuchen kein Zweifel mehr herrschen kann, dass der Muskel durch das Tetanusgift nicht isolirt beeinflusst wird, so muss doch hier eine zuerst frappirende Erscheinung erwähnt werden, welche leicht zu dem Glauben einer solchen isolirten Beeinflussung führen könnte. Es ist nämlich eine längere Zeit tonisch starre Extremität, wenigstens beim Warmblüter, nicht mehr im Stande, völlig zu erschlaffen, weder nach Nervendurchschneidung, noch durch Curare, noch selbst durch den Tod des Thieres. Als Beleg seien die folgenden Versuchsprotokolle angeführt:

Versuch 5. 2. 8. 94. Kaninchen, 1000 gr 10 ccm Tetanus-Bouillon-Cultur in das rechte Hinterbein. Nach 24 Stunden rechtes Hinterbein völlig starr. Allgemeine Streckkrämpfe. Nach abermals 24 Stunden heftigster allgemeiner und lokaler Tetanus. Durchschneidung des rechten Nervus ischiadicus, heftiger allgemeiner Streckkrampf von etwa halbminütiger Dauer. Die Starre der rechten Extremität ist nicht vermindert. Das Kaninchen lebt am Abend noch. Die Muskeln sind abur in den 8 Stunden, während welcher der Nerveneinfluss auf sie ausgeschaltet war, nicht schlaff geworden. Hier war der Muskel also während des Lebens todtenstarr geworden, und selbst 8 Stunden Blutdurchströmung des nachträglich enervirten Muskels hatten nicht genügt, um die Starre wieder aufzuheben.

Genau so wie hier kann der Muskel auch dem Kurare-Einfluss widerstehen.

Versuch 6. 7. 12. Maus, 17, 9, mit 0,003 filtrirter Bouillon-Cultur geimpft in das rechte Hinterbein. Nach 48 Stunden tonische Starre des geimpften Beines. Beim Hochheben am Schwanz agiren nur die drei anderen

Beine, das vierte bleibt starr gestreckt. Nach abermaligen 4 Tagen ist noch immer die rechte Hinterpfote und der Schwanz tetanisch. Injection von kleinen Gaben Kurare schnell hinter einander bis 0,3 mg; Nachlass des Tetanus, aber kein Verschwinden desselben. Es werden jetzt 0,5 mg Kurare auf einmal gegeben. Die Maus ist in wenigen Minuten total gelähmt, die Athmung wird bald oberflächlich und das Thier stirbt. Während dieser Zeit und nach dem Tode lässt die Starre des Hinterbeines nicht nach.

Versuch 7. 13. 7. 94. Kaninchen, 1000 gr. Impfung auf der rechten Brustseite mit einem kirschgrossen Stück Agarcultur. 15. 7. Pleurosthotonus. Rechtes Vorder- und Hinterbein tonisch steif. 16. 7. schwerer allgemeiner Tetanus; $5^1/_2$ Uhr tritt der Tod ein; das Vorderbein bleibt im Ellbogengelenke völlig unbeweglich, die Hinterbeine werden schlaff.

Ohne jeden einzelnen Versuch noch besonders zu erwähnen, sei hier nur noch bemerkt, dass jenes Anhalten der tetanischen Starre auch nach dem Tode des Thieres bei mehrfachen Versuchen an Kaninchen und Meerschweinchen gesehen wurde. Aber selbst wenn der tetanische Schenkel nach dem Tode erschlafft, so wird er doch schneller als die andern Muskeln in wenigen Minuten todtenstarr.

Man darf nun nicht glauben, dass hier eine Wirkung des Tetanus-Giftes auf den Muskel vorliegt, denn niemals tritt eine solche Starre ein, wenn der Nerv gleich bei dem ersten Erscheinen des Tetanus durchschnitten wird, oder wenn die Operation vor der Impfung vollzogen ist. Andererseits findet sich diese Muskelstarre besonders bei solchen Thieren scharf ausgeprägt, welche sehr lange Zeit die Contraction gezeigt haben. Es ist also diese Starre des Muskels nichts anderes als ein hochgradiges Ermüdungs-Phänomen, wie es den Physiologen vom electrischen Tetanus längst bekannt ist. Courmont und Doyon[1]) haben zwar diesem Phänomen ein eigenes Memorandum gewidmet und haben durch Reizungsversuche gezeigt, dass die Contractionsfähigkeit des starren Muskels erloschen ist. Sie haben damit aber eine für die Pathologie des Tetanus durchaus nicht specifische Erscheinung untersucht. Auffallend ist allerdings, dass Brunner nach electrischen Untersuchungen, die Monakoff an seinen tetanischen Kaninchen machte, Entartungsreaction der betreffenden Muskeln, in diesem Falle des Orbicularis

1) Quelques points particuliers de la pathogénie des contractures du tétanos. Arch. de physiol., 1893, p. 114 und Province méd., 1893, Nr. 7.

oculi, gefunden zu haben meint. Obgleich es mir ferne liegt, die sonstigen Resultate dieses Forschers anzuzweifeln, so möchte ich doch bei der Untersuchung so winziger Muskeln einen Irrthum für nicht ganz ausgeschlossen halten. Wenigstens nimmt der einzige der bisher Ea. R. beim Tetanus gesehen hat, Bernhardt[1]), an, dass es sich in dem Musc. frontalis (KaSZ $1^1/_2{}^0$ Nadelausschlag; KOZ bei 3^0 und ASZ) des untersuchten Falles um eine zufällige Nerven-Verletzung durch eine in der Nähe befindliche Wunde gehandelt habe. Da aber die Entartungsreaction doch immer den Gedanken an eine periphere Lähmung wach erhalten könnte, so habe ich bei dreien meiner Kaninchen die polare Untersuchung der Nerven und Muskeln in den tetanischen Extremitäten während des ganzen Krankheitsverlaufs durchgeführt. Bei diesen Untersuchungen habe ich zwar die mit der anhaltenden Starre immer mehr abnehmende Contractionsfähigkeit der Muskeln quantitativ Schritt für Schritt verfolgen können, habe aber sonst nichts Bemerkenswerthes, speciell keine Entartungsreaction angetroffen (s. Tab. p. 125).

Das die Betheiligung des Muskels endgültig entscheidende Experiment kann aber nur so gemacht werden, dass man die Zuckungskurve des unter Einwirkung des Tetanus-Giftes stehenden Muskels aufnimmt.

Versuch 8. 25. 2. 94. Mittelgrosses Kaninchen. Injection von 3,5 filtrirter Cultur in den rechten Schenkel. 27. 2. Der rechte Schenkel fährt bei Bewegungen leicht aus. 1. 3. Der lokale Tetanus deutlich ausgesprochen. Rechtes Bein wird nicht mehr zum Hüpfen gebraucht, sondern zeigt in der Ruhe und Bewegung starr nach hinten. Hautschnitt über der Vorderseite des Oberschenkels. Nach Freipräparirung des Muskels wird das Kaninchen aufgespannt und der Haken des Myographiums in die Muskelsubstanz eingehakt. Der Muskel wird durch einzelne Inductionsschläge gereizt, die Zuckungskurven sehen völlig normal aus, steigen steil und fallen steil ab[2]).

Also auch die Zuckungskurve des tetanischen Muskels, wenn man ihn electrisch reizt, ist eine durchaus normale, man muss ihn nur dann prüfen, wenn noch nicht durch die anhaltende Contraction die Muskelsubstanz verändert ist.

Von den Thieren, die wir untersucht haben, können wir deshalb

1) Zeitschr. f. klin. Med., 1884, VII, p. 410.

2) Herr Professor Biedermann, dem ich für seine gütige Unterstützung bestens danke, bestätigte das normale Aussehen der Zuckungskurven; so konnte ich von einer Reproduction derselben absehen.

sicher sagen, **dass der unter dem Einflusse des Tetanus-Giftes stehende Muskel nicht verändert ist; Kurare und die Nervendurchschneidung behüten ihn vor jeder Contraction. Bei polarer Untersuchung spricht er zunächst genau wie der gesunde auf den Strom an und die Zuckungskurve hat eine normale Gestalt. Sekundär stellen sich die gewöhnlichen Folgen andauernder Contraction ein, die electrische Erregbarkeit wird herabgesetzt und der Muskel wird schliesslich im lebenden Körper starr.**

Die motorischen Nerven.

Schon die vorher citirten Versuche weisen entschieden auf die Intactheit der motorischen Nerven hin: denn bei allen Nervendurchschneidungen blieb ja der periphere Theil des Nerven mit dem Muskel im Zusammenhang und hätte, wenn er durch das Gift gereizt wäre, den zugehörigen Muskel zur Contraction bringen müssen.

Sicher bewiesen wird nun die Unabhängigkeit des motorischen Nerven dadurch, dass die Zuckungskurve des Muskels, wenn er vom motorischen Nerven aus gereizt wird, auch bei einem längere Zeit tetanischen Thiere sich nicht ändert.

Versuch 9. 5. 7. 93. Frosch, mit 0,1 ccm filtrirter Cultur in den porsalen Lymphsack geimpft. 17. 7. Leichter Tetanus. Der Frosch liegt in halber Streckstellung auf dem Boden des Gefässes, bei leisem Anblasen oder bei Geräuschen zeigt er deutliche Streckkrämpfe. 19. 7. Schwerer Tetanus. Der ganze Körper steif wie von Holz, auf den leisesten Reiz stellen sich heftige andauernde Streckkrämpfe ein. Der Musculus gastrocnemius wird mit dem dazu gehörigen Nervus ischiadicus herauspräparirt und auf dem Myographium befestigt. Der Nerv wird durch einzelne Inductionsschläge gereizt, die Muskelzuckungskurve ist eine absolut normale. Eine Reizung erzeugt stets eine steil ansteigende und steil abfallende Erhebung der Kurve (s. Anmerkung p. 123).

Geht aus diesem Versuche hervor, dass das Tetanus-Gift den motorischen Nerven nicht direct trifft, so ist doch andererseits die Abnahme der electrischen Erregbarkeit im Verlaufe eines längeren Contractionszustandes hier ebenso unverkennbar, wie schon oben beim Muskel. Die beifolgende Tabelle zeigt dies (Tabelle A).

Zum Vergleich ist eine zweite Tabelle (B) angeschlossen, welche Auskunft über die Erregbarkeitsverhältnisse eines Gliedes nach länger dauerndem elektrischen Tetanus giebt.

Tabelle A.

Schwellenwerthe der polaren Erregbarkeit in tetanischen Gliedern bei percutaner Reizung mit Knopfelectrode.

9. III. 94. Kaninchen No. I mit 4 ccm, No. II mit 4,5 ccm, No. III mit 7 ccm in rechte Hinterpfote geimpft.

14. III. Die geimpften Beine bei Bewegungen leicht ausfahrend. Zuckung stets prompt, KSZ > ASZ falls nicht anders bemerkt.

I.

Rollenabstand mm Linkes Hinterbein	Rollenabstand mm Rechtes Hinterbein	Reizstelle des negativen Pols	Milliampère Linkes Hinterbein	Milliampère Rechtes Hinterbein
85	*80*	Nerv. tibial.	1,0	*1,0*
103	*96*	„ peron.	0,5	*0,5*
89	*96*	Musc. gastrocn.	0,7	*0,5*
92	*96*	„ tibial. ant.	0,6	*0,8*

II.

Rollenabstand mm Linkes Hinterbein	Rollenabstand mm Rechtes Hinterbein	Reizstelle des negativen Pols	Milliampère Linkes Hinterbein	Milliampère Rechtes Hinterbein
116	*22*	Nerv. tibial.	0,6	*1,2*
128	*140*	„ peron.	0,4	*0,5*
140	*93*	Musc. gastrocn.	0,7	*0,7*
94	*94*	„ tibial. ant.	0,7	*0,9*

III.

Rollenabstand mm Linkes Hinterbein	Rollenabstand mm Rechtes Hinterbein	Reizstelle des negativen Pols	Milliampère Linkes Hinterbein	Milliampère Rechtes Hinterbein
90	*93*	Nerv. tibial.	1,2	*1,0*
110	*104*	„ peron.	0,8	*0,6*
83	*90*	Musc. gastrocn.	0,8	*0,8*
90	*100*	„ tibial. ant.	1,0	*0,8*

15. III. Alle geimpften Pfoten gestreckt, mit der Sohle nach oben. Der Apparat frisch gefüllt: Farad. Reizbarkeit scheinbar erhöht. Z. pr. KSZ > ASZ.

I.

Rollenabstand mm Linkes Hinterbein	Rollenabstand mm Rechtes Hinterbein	Reizstelle des negativen Pols	Milliampère Linkes Hinterbein	Milliampère Rechtes Hinterbein
>140	*134*	Nerv. tibial.	0,3	*0,5*
>140	*>140*	„ peron.	0,5	*0,7*
>140	*>140*	Musc. gastrocn.	0,4	*1,0*
125	*119*	„ tibial. ant.	0,5	*0,6*

II.

Rollenabstand mm Linkes Hinterbein	Rollenabstand mm Rechtes Hinterbein	Reizstelle des negativen Pols	Milliampère Linkes Hinterbein	Milliampère Rechtes Hinterbein
108	*85*	Nerv. tibial.	0,2	*2,0*
135	*122*	„ peron.	0,3	*0,8*
115	*115*	Musc. gastrocn.	0,6	*0,9*
98	*82*	„ tibial. ant.	0,6	*1,1*

III.

Rollenabstand mm Linkes Hinterbein	Rollenabstand mm Rechtes Hinterbein	Reizstelle des negativen Pols	Milliampère Linkes Hinterbein	Milliampère Rechtes Hinterbein
〉140	〉*140*	Nerv. tibial.	0,6	*1,1*
〉140	〉*140*	„ peron.	0,3	*1,1*
115	*106*	Musc. gastrocn.	0,7	*1,1*
132	*113*	„ tibial. ant.	0,8	*1,1*

17. III. No. I. Linkes Hinterbein leicht spastisch. No. II. Linkes Hinterbein völlig gestreckt, schwerer allgemeiner Tetanus. No. III. Linkes Hinterbein schlaff. Alle 3 mit völlig steif gestrecktem rechten Hinterbeine. Zuckung prompt. KSZ 〉 ASZ wo nicht anders bemerkt.

I.

114	*100*	Nerv. tibial.	0,5	*1,1*
118	*105*	„ peron.	0,5	*0,7*
108	*85*	Musc. gastrocn.	0,8	*1,1*
107	*89*	„ tibial. ant.	0,5	*0,6*

II.

114	*88*	Nerv. tibial.	0,4	*1,1*
130	*90*	„ peron.	0,8	∞
105	*55*	Musc. gastrocn.	0,7	*1,5* ASZ 〉 KSZ
104	*43*	„ tibial. ant.	0,5	*5,0*

III.

93	*89*	Nerv. tibial.	0,6	*1,1*
108	*94*	„ peron.	0,4	*1,3*
93	*93*	Musc. gastrocn.	1,0	—
98	*85*	„ tibial. ant.	0,8	*1,0*

18. III. No. I und II todt.

19. III. No. III leichter allgemeiner Tetanus; sonst unverändert.

III.

118	*92*	Nerv. tibial.	0,9	*1,5*
125	*118*	„ peron.	0,5	*0,9*
91	*88*	Musc. gastrocn.	0,9	*1,2*
100	*90*	„ tibial. ant.	0,5	*0,8*

20. III. No. III todt.

Tabelle B.

Dieselben Werthe bei electrischem Tetanus.

11. IV. 94. Kaninchen No. IV, gesund. Das rechte Hinterbein wird $^1/_2$ Stunde durch starke faradische Ströme in Contraction erhalten.

Vor der Faradisation.

Rollenabstand mm Linkes Hinterbein	Rollenabstand mm Rechtes Hinterbein	Reizstelle des negativen Polz	Milliampère Linkes Hinterbein	Milliampère Rechtes Hinterbein
122	124	Nerv. tibial.	0,2	0,2
138	138	„ peron.	0,2	0,2
107	110	Musc. gastrocn.	0,7	0,7
115	108	„ tibial. ant.	0,4	0,5
		Nach der Faradisation.		
115	*100*	Nerv. tibial.	0,8	*1,5*
100	*0*	„ peron.	0,2	∞
108	*80*	Musc. gastrocn.	0,3	*1,5*
100	*0*	„ tibial. ant.	0,4	*3,0*

Aus der Tabelle geht hervor, dass beim infectiösen Tetanus eine successive Abnahme der polaren electrischen Erregbarkeit verfolgt werden kann. Je länger der Tetanus eines bestimmten Körpergebietes dauert, um so schwächer wird die electrische Erregbarkeit von Nerven und Muskeln. Entartungsreaction fand sich niemals. Schliesslich hört die electrische Erregbarkeit überhaupt auf, oder es werden zur Auslösung einer Contraction so starke Ströme erfordert, dass die allgemeine Unruhe des Versuchsthieres die Erkennung etwa noch bestehender schwacher Contractionen unmöglich macht.

Eine ganz gleichartige, nur etwas weniger hochgradige Abnahme der elektrischen Erregbarkeit eines Gliedes lässt sich auch durch Faradisiren mit starken Strömen herbeiführen. Es handelt sich also um eine allgemeine Ermüdungserscheinung, nicht um eine specifische Tetanusgiftwirkung.

Also auch der motorische Nerv ist nicht der Angriffspunkt des tetanischen Giftes.

Das Centralorgan (Rückenmark, Gehirn).

Es sei zunächst einiger Versuche gedacht, in welchen die Unabhängigkeit des Tetanus vom Gehirn gezeigt werden soll. Das

natürliche Mittel hierzu ist die Durchschneidung des Rückenmarks oberhalb des Reflexbogens für die geimpfte Extremität.

Versuch 9. 13. 6. 94. Meerschweinchen, Chloralnarkose. Freilegung der Mitte der Rückenwirbelsäule durch Längsschnitt; Abkneifen einiger processus spinosi. Der Wirbelkanal wird mit einer feinen Knochenscheere eröffnet, und das Rückenmark mit spitzem Messer quer durchschnitten. Totale Paraplegie der hintern Körperhälfte. 16. 6. 0,5 ccm Bouillon-Reincultur in rechten Schenkel. 17. 6. Rechtes Hinterbein in mässiger Streckstellung. Abends: Rechtes Hinterbein starr gestreckt, linkes Hinterbein etwas steif. Alle paar Sekunden gerathen die Hinterbeine in einen Anfall heftigen Zitterns mit oder ohne vorausgegangene Reizung. Der Vorderkörper dabei fast normal, nur die Reflexe etwas lebhaft, das Thier läuft behende umher und frisst. 18. 6. Schwerer allgemeiner Tetanus. Mittags todt.

Der Versuch wurde wiederholt um, aus später ersichtlichen Gründen, zu erfahren, ob sich oberhalb der Durchschneidungsstelle etwa noch etwas von der Halbseitigkeit des Tetanus erkennen liesse. Das war nicht der Fall.

Versuch 10. 19. 6. 94. 2 Meerschweinchen. Brustmarkdurchschneidung. Totale Paraplegie der hinteren Körperhälfte. 24. 6. 0,5 filtrirte Cultur bei beiden Meerschweinchen in den rechten Schenkel geimpft. Nach 24 Stunden allgemeiner Tetanus. Der Rumpf und die Vorder-Extremitäten gleichmässig etwas steif. Rechtes Hinterbein in starrer Contraction nach hinten gestreckt, linkes weniger starr. Tod nach 28 bezw. 30 Stunden.

Es ist also klar, dass vorherige Rückenmarksdurchschneidung das Zustandekommen des lokalen Tetanus nicht hindert. Auch nach Eintreten des Tetanus bewirkt die Rückenmarksdurchschneidung nichts anderes, als dass die Krämpfe unter dem Einflusse des Rückenmarkschocks zunächst aufhören und erst nach einiger Zeit allmählich wiederkehren.

Versuch 11. 5. 7. 93. Frosch. Impfung mit 0,3 ccm filtrirter Bouilloncultur in den Rückenlymphsack. 15. 8. Schwerer Tetanus. Resection des 1. Halswirbelbogens. Durchschneidung des Rückenmarks unmittelbar hinter der Medulla oblongata. Im ersten Moment tritt völlige Lähmung ein. Der Frosch, der vorher steif wie ein Stück Holz ausgestreckt war, liegt jetzt völlig schlaff im Gefäss. Nach $^1/_2$ Stunde: Der Frosch liegt noch schlaff da, aber ein leichter Nadelstich oder Druck auf eine der Zehen löst sofort einen lang dauernden allgemeinen Streckkrampf aus. Am nächsten Morgen todt aufgefunden.

Versuch 12. Frosch vor 2 Wochen mit 0,3 ccm filtrirter Cultur geimpft, seit etwa 4 Tagen tetanisch, jetzt völlig steif. Decapitation. Die Steifigkeit der Muskeln vermindert sich etwas. Während vorher leichtes Anblasen oder Streichen mit einem Pinsel schon heftigste Krämpfe hervorriefen,

sind jetzt etwas stärkere Reize dazu nothwendig, stets aber folgt auf einen sensiblen Reiz ein Streckkrampf.

Versuch 13. 20. 6. 2 Mäuse erhalten 0,2 ccm Cultur bezw. Filtrat in das rechte Hinterbein.

Nr. 1. Nach 12 Stunden starker lokaler Tetanus und allgemeine clonische Krämpfe. Resection eines Wirbelbogens in der Mitte der Brustwirbelsäule, Rückenmarkdurchschneidung mit spitzem Messer. Beine und Schwanz total gelähmt, kein Tetanus. Nach $^1/_2$ Stunde starke tetanische Anfälle in Schwanz und Hinterbeinen und zwar ungleichzeitig mit den Krämpfen der vorderen Körperhälfte. Die tonische Contraction des geimpften Beines entschieden geringer als vor der Operation, aber doch deutlich. Nach drei Stunden todt. Rechtes Bein noch nach dem Tode in starrer Streckstellung, linkes halb gebeugt, Schwanz gerade nach hinten.

Bei Nr. 2, die schwer tetanisch ist, wird 48 Stunden nach der Impfung das Rückenmark durchschnitten. Der Tetanus hört ebenso wie bei Nr. 1 auf. Nach 12 Stunden erst kehren die Streckkrämpfe im Hinterkörper wieder. Beide Hinterbeine und der Schwanz zeigen ausserdem starre Streckstellung. Der Tetanus hält sich dann unvermindert durch 24 Stunden hindurch; am nächsten Morgen todt aufgefunden.

Es sei genug mit diesen Versuchen, sie erheben die Thatsache über allen Zweifel, dass, wenn die Versuchsthiere lange genug die Rückenmarksdurchschneidung überleben, der Tetanus durch eine Rückenmarksdurchschneidung nicht beeinflusst wird, oder doch nur in dem Sinne beeinflusst wird, dass durch den Wegfall eines Theiles der sensiblen Erregungen die Krampfanfälle etwas seltener, die Contracturen etwas weniger starr werden. Nur in der ersten Zeit nach der Operation verlieren tetanische Thiere die Krämpfe vollständig, dieselben kehren aber bald zurück.

Wie schon hiernach zu vermuthen ist, werden nun die Krämpfe durch Zerstörung des zugehörigen Rückenmarksabschnittes vollständig gehoben. Die Protokolle der Versuche bleiben hier unerwähnt, ich habe bei Fröschen mehrfach durch eine eingeschobene Platinnadel das Rückenmark zerstört und ebenso wie die ersten Tetanus-Experimentatoren vollständiges Schwinden der Krämpfe stets gesehen.

Interessanter als dieses zur Genüge bekannte Experiment ist der Einfluss, welcher auf tetanische Thiere ausgeübt wird, durch Herabsetzung der sensiblen Functionen. Schon oben war dieser Einfluss deutlich hervortretend, wenn man durch Rückenmarksdurchschneidung die sensiblen Erregungen des

Gehirns ausschaltete. Der einzige Tetanusfall bei Menschen, an dem ich auf diese Dinge achten konnte, liess deutlich das Abnehmen der tetanischen Krämpfe unter dem Einfluss einer leichten Aether- oder Chloroformnarkose, durch Morphium-Einspritzungen, durch Ruhe im Zimmer und Schutz der Augen gegen das Licht erkennen. So eingebürgert ist diese Erkenntniss unter den Aerzten, dass niemals in dem Kapitel „Therapie des Tetanus" die Mahnung zur Ruhe, Verdunklung des Zimmers, narkotischen Mitteln vermisst wird. Auch mir ist es eine ganz geläufige Erfahrung, dass tetanische Thiere, wenn sie behufs Vornahme einer Operation narkotisirt werden, eine Verminderung, ja eine völlige Sistirung der Krämpfe zeigen. Diese Erfahrung ist wohl unter denen, die sich überhaupt mit Tetanus beschäftigt haben, so allgemein bekannt, dass ich es unterlassen kann, besondere Versuchsprotokolle noch einzufügen.

Wir können also bis hierher die Experimente unserer Vorgänger durchweg bestätigen. Der Angriffspunkt des Tetanusgiftes liegt innerhalb des der Impfstelle zunächst liegenden Reflexbogens und jedenfalls nicht im Muskel oder im motorischen Nerven.

Ist es nun etwa die sensible Bahn, die erkrankt ist?

Die sensiblen Nerven.

Complicirter als bisher wird die Versuchstechnik und die Beurtheilung der Resultate, wenn es sich um die Bedeutung der sensiblen Nerven für den Tetanus handelt. Beim Warmblüter ist die experimentelle Ausschaltung aller sensiblen Nerven technisch unmöglich, beim Frosch auf der andern Seite fehlt der lokale Tetanus des geimpften Gliedes, welcher gerade der Erklärung die grössten Schwierigkeiten bietet. Aber wenn es auch gelingt zu zeigen, dass nur infolge sensibler Erregungen ein Tetanus ausgelöst wird, so bleibt doch die Frage offen, ob die Nerven selbst oder das Rückenmark eine Veränderung im Sinne der Ueberregbarkeit erlitten haben.

Nun ist dies Dilemma allerdings ein altes und schon öfter hat man versucht, es zu überwinden. Die erste elegante Methode, die eine isolirte Vergiftung theils des Rückenmarks, theils der

Nerven bezweckte, hat Stannius[1]) beschrieben. Er schnitt einem Frosche das Rückenmark durch und isolirte das Lendenstück mit den abgehenden Nervenwurzeln völlig von der Blutzufuhr, derart, dass das Rückenmark nur noch durch die Spinalwurzeln mit den Hinterextremitäten in Verbindung stand. Der daraufhin strychninisirte Frosch zeigte keine Krämpfe in den Hinterbeinen, obwohl doch deren sensible Nervenendigungen vom strychninhaltigen Blute umspült waren. In ganz ähnlicher Weise, die übrigens schon von Joh. Müller geübt wurde, beweist Meihuizen[2]) die Wirkung des Strychnins auf das Rückenmark, indem er ein Froschbein völlig abschnürt mit Ausnahme der Nerven. Obwohl durch eine nachfolgende Strychninvergiftung das aus der Circulation ausgeschaltete Bein vom Gifte unberührt bleibt, zeigt es doch Krämpfe. Leider sind solche Versuche nur am Kaltblüter ausführbar, der Frosch hat aber eine so lange Inkubation des Tetanus (8 Tage bis 5 Wochen), dass hier analoge Versuche mit Tetanusgift ausgeschlossen sind. Durch Einsetzen in warmes Wasser habe ich zwar den Tetanus beschleunigen und bei den sonst refractären Winterfröschen herbeiführen können, aber auch so dauert die Incubation immer noch Tage.

Es müsste denn ein Tetanusgift hergestellt werden, das wie Strychnin, ohne Incubationszeit wirkt. Einen Augenblick schien dies wirklich gefunden zu sein, als Courmont und Doyon[3]) durch Injection des Blutes tetanischer Hunde bei anderen Hunden einen sofortigen Tetanus hervorgerufen zu haben angaben. Sie meinten, das Blut solcher Hund enthalte eine substance directement tetanisante, comparable par ses effets à la strychnine. Wir haben diese Angabe nachgeprüft, allein mit durchaus negativem Resultate.

Versuch 14. 9. 3. 94. Hund (Windhund), 10 kg. Injection von 13 ccm filtrirter Cultur in linke Vorderpfote subcutan. 12. 3. Die Pfote in steifer Streckstellung, fortwährend zitternd. 15. 3. Schwerster allgemeiner Tetanus. Chloroformnarkose, Anschneiden der Arteria carotis und femoralis sinistra. Das Blut wird in Magnesiumsulfatlösung, welches wie der untenstehende Controlversuch zeigt, der Giftigkeit keinen merkbaren Abbruch thut, ($^1/_{10}$ Vol. %) aufgefangen.

---

1) Müllers Arch. IV, 1837, p. 223.
2) Pflüger s Archiv VII, p. 601.
3) Province méd., 1893, Nr. 11.

Zwei Frösche erhalten je 4 ccm. Kein Tetanus, sie werden in den Brutschrank gesetzt: kein Tetanus. Nach 24 Stunden Verweilens im Brutschranke bei 35 Grad sterben sie ohne Tetanus. Ein mittelgrosser Hund erhält circa 200 ccm der Flüssigkeit intravenös eingespritzt, er zeigt grosse Abmattung und schleppt mit den Hinterbeinen etwas nach, keine Spur von Tetanus, dauernd gesund.

Controlversuch: 2 Mäuse erhalten 0,2 Tetanuscultur in den Schenkel, die eine unvermischt, die andere zur Hälfte mit conc. $MgSO_4$-Lösung vermischt. Beide werden nach 16 Stunden mit ausgesprochenem Tetanus aufgefunden und starben die eine am zweiten Tage, die zweite in der folgenden Nacht. Also am Magnesiumsulfat lag der Misserfolg nicht.

Bezüglich der Muskeln tetanischer Thiere, welche ebenfalls nach C. und D. einen veritablen Strychninismus hervorrufen sollen, hatte ich schon vor längerer Zeit so entmuthigende Erfolge gehabt, dass ich auf eine Wiederholung dieser Versuche verzichtete. Völlig negative Ergebnisse hatten auch Brunner[1]) und Uschinsky[2]), die genau nach den Angaben der Franzosen arbeiteten. Ebenso fand Bruschettini[3]) die Muskelsubstanz tetanisirter Thiere nach künstlicher Circulation ungiftig.

Mangels einer schnell tetanisirenden Substanz müssen wir also auf Anwendung des Versuchs von Stannius, Meihuizen und anderer ähnlich complizirter verzichten.

Eine Methode, welche eine etwaige Hyperirrition peripherer Nerven als Wesen des Tetanus auszuschliessen gestattet, versuchte ich auf anderem Wege zu finden. Gelingt es nämlich an einem tetanischen Thiere durch isolirte Rückenmarksreizung dieselben tetanischen Krämpfe auszulösen, wie durch periphere Reizung irgend einer Hautstelle, so ist damit das Rückenmark als der Sitz der Hyperirritation festgestellt. Natürlich bezieht sich diese Feststellung nur topographisch auf das Rückenmark; in ihm müssen die Elemente liegen, welche erregt werden, ob aber Nervenfasern, oder Ganglienzellen im Mark, und ob die motorischen oder sensiblen Theile des Reflexbogens die Träger der Erregbarkeit sind, das lässt sich überhaupt nicht ermitteln.

Versuch 15. 5. 7. 93. Frosch mit 0,3 ccm filtrirter Cultur in den Rückenlymphsack geimpft. 15. 7. leichter Tetanus, 20. 7. schwerer Tetanus, Frosch völlig steif, auf die leisesten Reize hin stärkster Ospisthotonus und

1) Deutsche med. Wschr., 1894, Nr. 5.
2) Centralbl. Bacteriol. XIV, 1893, p. 319.
3) Rif. med. Luglio, 1892. (Sep. Abdr.)

Streckkrämpfe. Decapitation. Tetans wesentlich schwächer, Steifheit geringer, Reflexerregbarkeit noch sehr beträchtlich. Berührung irgend einer Hautstelle löst sofortigen Streckkrampf aus. Genau dieselben Streckkrämpfe werden jetzt ausgelöst, indem man mit einer feinen Platinöse die Halsmarkschnittfläche leise berührt. Der Versuch gelingt einige Male hintereinander.

Controlversuch: Ein gesunder dacapitirter Frosch zeigt bei leisen Berührungen der Rückenmarkschnittfläche keine Reflexe, bei tieferem Einbohren des Drahtes aber kürzer dauernde Streckkrämpfe.

Es ist diese einfache Methode beweisender als das complicirte Experiment der Durchschneidung der sensiblen Nervenwurzeln.

Aber richtig gedeutet, kann letzteres ebenfalls die Tetanuslehre wesentlich fördern. Es sei daher zunächst kurz erörtert, welche Ausbeute für unsere Fragen der Versuch der Nervenwurzeldurchschneidung überhaupt ermöglicht.

Die Durchschneidung der hinteren Nervenwurzeln zum Studium der Localisirung von Krämpfen wurde zuerst von Stannius[1]) (1837) beim Frosche geübt, und schon damals wurde das Ausbleiben der Strychninkrämpfe an Körpertheilen, die nach Rückenmarkdurchschneidung auf diese Weise anästhesirt waren, festgestellt. Zu gleichen Resultaten kamen Arnold[2]) und H. Meyer[3]). Ganz neuerdings sind die Versuche von Hering jr.[4]) mit gleichem Erfolge wiederholt. Das Ausbleiben der Krämpfe beweist, dass es zu deren Zustandekommen einer sensiblen Erregung bedarf, dass also die Hyperexcitabilität, wo auch immer ihr Sitz sich befindet, nicht selbständig sich offenbart, sondern durch sensible Reize ausgelöst wird. Mehr nicht. Wenn nun von französischer Seite der Versuch gemacht ist, dies Experiment, welches — entsprechend modificirt — auch beim Tetanus negativen Erfolg haben soll, für die Aufstellung einer Irritation des nerfs sensitifs als Grund der Krämpfe zu benutzen, so ist das entschieden ein Irrweg. Ist der Erfolg aber positiv, giebt es auch in einer Extremität, die ihrer sensiblen Wurzeln beraubt ist, einen localen Tetanus, so sind die sensiblen Nerven jedenfalls nicht die Erreger der Krämpfe.

1) Müller's Arch. f. Anat. u. Phys. IV, p. 223.
2) Hygiere XIV, Heft 3.
3) Zeitschr. f. rat. Med. V,
4) Pflügers Arch., 1893. 1846, p. 260.

Versuchstechnik: (Vgl. auch Cyon[1]). Die Operation dauert, Uebung vorausgesetzt, bei starken Hunden etwa eine Stunde; das Aufbrechen des Wirbelkanals ist der zeitraubendste Theil, deshalb erfordern Thiere mit weicheren Knochen (Meerschweinchen, Kaninchen) weniger Zeit. Die letzteren bekamen aber stets Lähmungen; auch muss man bei ihnen die Dura spalten, da die motorischen und sensiblen Wurzeln nur intradural trennbar sind, bei Katzen kann man zwar extradural operiren, da bei ihnen, ebenso wie bei Hunden, die Wurzeln auch extradural nur durch lockeres Bindegewebe zusammengehalten werden. Die beiden Katzen aber, an denen ich die Operation versuchte, gingen, die eine nach 6, die andere nach 17 Stunden, zu Grunde. So bleibt der Hund, trotz einiger Nachtheile doch das geeignetste Thier.

Complete Morphium-Chloroform-Narkose ist stets nothwendig, da der heftige Schmerz das Thier sonst mehr erschöpft, als die ganze Operation. Der Hautschnitt wird durch die rasirte und desinficirte Haut bis auf die Dornfortsätze geführt, die Rückenfascie zu beiden Seiten der Dornfortsätze aufgeschlitzt, die an der Mittellinie ansetzenden Muskeln beiderseits dicht am Knochen durchschnitten und mit dem Messerstiel die Furche zu beiden Seiten der Processus spinosi ausgeschabt, schliesslich das ganze Längsbündel der Rückenmuskeln in der Höhe der Beckenschaufeln mit stumpfer Scheere durchkniffen. Compression der Wunde; Unterbindungen sind kaum nöthig. Zur Orientirung dient das letzte lumbale Intervertebralloch, das man über dem Kreuzbein abtasten kann. Angefangen wird nun über den mittleren Lumbalwirbeln, die durch einen unter den Bauch geschobenen Gegenstand hervorgewölbt werden. — Abkneifen der Dornfortsätze. Abtragung der Querfortsätze eines Wirbels von aussen nach innen, bis die Dura hervorschimmert mit kurzbranchiger starker Knochenscheere; von dem entstandenen Loche aus — wo kein subdurales Hämatom entstehen darf — geht es leichter, zunächst nach oben zu, immer von aussen nach innen die Wirbelbogen durchkneifend, ohne die Scheere unter dem Bogen im Kanal vorwärts zu schieben, dann nach dem Kreuzbein zu, wo die überstehenden hinteren Spinae ischiadicae abgetragen werden. Beim dritten Kreuzbeinloch kann man anhalten. Die noch nicht sichtbaren Nervenwurzeln werden vorsichtig aus dem Kanal herausgehoben; ich trenne das Bindegewebe zwischen motorischem und sensiblem Strang durch feine ausgezogene Glasstäbe mit angeschmolzener Kuppe, die Wurzeln werden mit feiner Scheere durchschnitten, jede einzeln, nur die letzten sacralen zusammen. Leises Streichen der motorischen Wurzeln oder des Rückenmarks löst sichtbare Zuckungen aus, wenn das Mark intakt geblieben ist. Jodoform. — Complete Naht zur Beherrschung der erheblichen Nachblutung, an der mir die meisten Thiere starben; nach 24 Stunden Drainage des hintersten Wundwinkels. In den nächsten Tagen wird jede fluktuirende Stelle sofort geöffnet und tamponirt. Eine geringe Parese der Beine ist immer bemerkbar, schon das Morphium bewirkt sie oft; deshalb ist erst

1) Methodik d. physiol. Exper. u. Vivisectionen. Giessen. Ricker. 1876.

einige Zeit nach der Operation ein genauer Befund aufzunehmen; aber auch dann schleppt das operirte Bein ein wenig, sei es in Folge unvermeidbarer Läsionen, sei es durch Wegfall der sensiblen Erregungen, sei es endlich durch den Ausfall derjenigen motorischen Fasern, die durch die hintern Wurzeln verlaufen und die, schon Cajal und Lenhosseck bekannt, neuerdings von Gehuchten[1]) eingehender beschrieben sind.

Versuch 16. 6. II. 94. Hund, 6500 gr. Complete Narkose durch Morphium, Chloral und Aether. Durchschneidung der rechtsseitigen sensiblen Wurzeln des Rückenmarks von der zweiten lumbalen bis zur letzten sacralen. 7. Februar Injection von 3 ccm filtrirter Tetanusbouilloncultur vom 2. Januar, wovon 0,2 eine Maus von 19 g in 24 Stunden tödten, in die rechte Hinterpfote. Befund am 8. Februar: Der Hund geht; beide Hinterbeine unsicher in der Bewegung, bei Anstrengung zitternd, das rechte nur dann zum Stützen gebraucht, wenn der Körper zufällig darauf einen Halt findet, dann knickt es auch nicht zusammen. Im übrigen hängt es schlaff herunter, beim Liegen sind deutliche spontane Bewegungen des ganzen rechten Beines und der Zehen wahrnehmbar. Bei stärkerem Klopfen auf andere Körperstellen zuckt auch die rechte Pfote, an ihr selber keine Patellar-, Periost- oder Hautreflexe. Complete Anästhesie des operirten Beines. Dieselben Reflexe an der gesunden Seite deutlich. 17. Februar. Die rechte Hinterpfote wird öfters in Streckstellung angetroffen, zeitweilig leichte Zuckungen in der ganzen Pfote. 19. Februar. Da die geringen tetanischen Erscheinungen nicht prägnant genug sind, so wird jetzt 2,5 ccm einer unfiltrirten Reincultur in die Pfote injicirt. 23. Februar. Rechte Hinterpfote in steifer Streckstellung. Im Liegen wird die Pfote freischwebend etwa 5 cm über dem Lager in die Höhe gehalten. Bei völliger Ruhe sinkt die Pfote etwas herunter, ein leichtes Händeklatschen lässt sie wieder in steife Streckstellung zurückschnellen (Taf. I, Fig. 7). 24. Februar. Noch immer lokaler Tetanus. Die rechte Pfote kann mit Nadeln gestochen mit Zangen gekniffen, mit dem Fuss getreten werden, ohne dass die leiseste Reaction ausgelöst wird. Bei leichtem Beklopfen der linken Hinterpfote dagegen schnellt sofort die rechte in steifste Streckstellung über, während die linke ruhig bleibt. 28. Februar. Genereller Tetanus. Auch die Vorderpfoten befinden sich jetzt in Streckstellung, ebenso der Nacken; bei Berührung der Vorderbeine versucht der Hund zu beissen, bringt aber den steifen Hals nicht mehr herum. Das Thier liegt hilflos auf einer Seite. 1. März. Derselbe Befund. Decubitus. 2. März. Der Hund wird getödtet. Das Rückenmark sammt Wurzeln, Spinalganglien und einem Theil der Spinalnerven herauspräparirt. Sämmtliche sensiblen Wurzeln zeigen sich in der That durchschnitten, an der vierten Sacralwurzel ist der motorische Antheil aus Versehen mit durchschnitten. Die Dura mater durchweg weiss, der Liquor cerebro spinalis völlig klar; nirgendwo Eiterung. Rechte Hinterpfote sehr bald todtenstarr, die übrigen Glieder nach dem Tode noch längere Zeit biegsam.

1) Anat. Anzeiger, 1893, p. 215.

Das Ergebniss dieses Versuches, der von französischer Seite mit negativem Erfolge ausgeführt wurde, ist also: Der lokale Tetanus tritt auch in dem völlig anästhetischen Beine nach localer Impfung ein.

Um nun nicht das unbefriedigende Gefühl zurückzulassen, dass hier positive und negative Ergebnisse des Versuchs völlig unvermittelt einander in der Literatur gegenüberstehen, habe ich mich bemüht zu finden, woran die andern Untersuchungen scheiterten.

Courmont u. Doyon stützen sich darauf, dass bei einem bereits tetanischen Thier die Contractionen einer Extremität bei Durchschneidung der hintern Wurzel verschwinden. Man muss demgegenüber sagen, dass es die allgemeine Regel ist, dass die Contractionen während der eingreifenden Operation schwächer werden oder verschwinden. Folgender Versuch illustrirt dies:

Versuch 17. 4. 9. 93. Meerschweinchen. 0,3 filtrirter Cultur in die linke Hinterpfote. Nach 20 Stunden lokaler Tetanus. Es soll eine Brustmarkdurchschneidung und Resection der sensiblen Wurzeln gemacht werden. Nach Freileguug des Rückenmarks ist jede Spur von Contraction verschwunden. Das Rückenmark ist dabei völlig intakt, leichtes Bestreichen desselben mit der Sonde löst Contractionen der Hinterbeine aus.

Hier ist also durch Blutverlust, Chock und Abkühlung eine ähnliche Herabsetzung der Reflexerregbarkeit eingetreten, wie wir sie schon oben bei Chloroformeinwirkung gesehen haben.

Auch bei vorheriger Resection der sensiblen Wurzeln drohen ähnliche Klippen: Die Autoren sagen, sie haben einen Hund mit resecirten hintern Wurzeln und einen Controlhund geimpft und beide sind an Tetanus gestorben. Sie fahren fort la patte insensible est le seul point de ces deux chiens qui n'ait pas été contracturé. Nun lässt sich aber leicht zeigen, dass ein anästhetisches Glied, wenn der Tetanus erst generalisirt ist, den Krämpfen genau so anheimfällt, wie der übrige Körper. Man braucht dazu gar keine Operation.

Versuch 18. 20. 7. 93. Schwer tetanischer Frosch. Das rechte Hinterbein wird in ein Reagensglas mit 10% Cocainlösung eingehalten bis es völlig anästhetisch ist; Nadelstiche an diesem Beine bleiben völlig wirkungslos. Bei leisen Hautreizen an irgend einer anderen Stelle fährt ein Streckkrampf über das ganze Thier; beide Hinterbeine werden gleichmässig starr

und lassen gleich lange das Vibriren der Muskulatur bei allmählich abklingendem Krampfe erkennen.

Also der generalisirte Tetanus verschont keine der Extremitäten, auch wenn sie vollkommen anästhetisch sind. Wenn die betreffende Pfote im Versuche der beiden Autoren schlaff blieb, so war eben die motorische Bahn durch Zufall verletzt.

Es ist übrigens ein eigenes Geschick, dass Courmont und Doyon[1]) sich in ihrer neuesten Arbeit, ohne es zu wissen, selbst dementiren. Sie reseciren nämlich zu einem andern Zwecke sämmtliche sensiblen Nerven-Wurzeln beider Hinterbeine bei einem Thiere, das ein tetanisches Hinterbein hat; da zeigt es sich, dass, wenn sie die centralen Stümpfe der sensiblen Wurzeln an der intacten Seite reizen, dann Contractionen auf der gegenüberliegenden. tetanischen Pfote erscheinen. Das ist also doch ein Tetanus in einem Beine, dessen sensible Nerven nicht mehr mit dem Mark communiciren! — Und nun noch ein letztes Wort über diese Nervenresectionen. In der ersten Mittheilung der Franzosen[2]) gehen beide Hunde, der mit dem anästhetischen Beine und der Controlhund tetanisch zu Grunde und nur die anästhetische Pfote bleibt schlaff. La patte insensible est le seul point de ces deux chiens qui n'ait pas été contracturé. Das ausführliche später erschienene Versuchsprotokoll[3]) besagt aber, dass an dem operirten Hund nur die eine Vorderpfote „ziemlich steif" war, dann starb er; die letzte Untersuchung ergab nämlich: Le chien opéré ne présente pas de tétanos de la patte postérieure droite, parcontre, il y a de la raideur assez nette des muscles de la patte antérieure droite. Rien allieurs. Ob also der Hund, auf den sich die Lehre von dem Sitze des Tetanusprincips in den sensiblen Nerven hauptsächlich stützt, ob dieser Hund überhaupt jemals Tetanus gehabt hat, ist zum mindesten sehr fraglich.

Nach alledem können wir mit Sicherheit annehmen, dass der Tetanus von den sensiblen Nerven des geimpften Körperbezirks unabhängig ist und allein das Centrum betrifft d. h. eine erhöhte Reflexerregbarkeit des Rückenmarks bewirkt,

1) Prov. med., 1894, Nr. 14.

2) Arch. de phys. norm. et pathol., 1893, p. 72.

3) Prov. méd., 1893, p. 64.

genau wie das Strychnin, von dem er sich nur in Besonderheiten der Verbreitung, nicht aber im Wesen unterscheidet.

Genau zu demselben Versuchsergebniss ist neuestens der auf dem Gebiete der Tetanuslehre autoritative Brunner[1]) gekommen. Er wählte den kürzeren Weg, indem er einem Physiologen die Operation der Nervenwurzelresection überliess. Das Ergebniss war das gleiche: Das Kaninchen bekam den typischen Tetanus des geimpften Hinterbeines, obgleich die zugehörigen sensiblen Wurzeln durchschnitten waren.

Es bleibt nun über das Princip des Tetanus eine schon oben aufgeworfene Frage: **Ist denn die tetanische Contractur durch äussere sensible Reize bedingt oder ist sie autochthon, durch innere Reize unterhalten.** Wir müssen hier auf die Antwort schuldig bleiben. Der Tonus des geimpften Bezirks spricht ja entschieden für autochthone Entstehung, aber experimentell kommt man in dieser Frage nicht weiter. Man kann ja an einem Versuchshunde, wie er oben beschrieben, mit blossliegendem Rückenmark und resecirten sensiblen Wurzeln der rechten Seite sehr leicht den Scheinversuch machen, ein abgeschnittenes, von allen sonstigen Nervenverbindungen getrenntes Lumbalmarkstück nur mit dem zugehörigen tetanischen Bein durch die motorischen Nerven in Verbindung zu lassen. Es würde dieser Versuch aber, wenn man ihn, wie hier, am Warmblüter zu machen gezwungen ist, das zurückbleibende Rückenmarkfragment so schwer schädigen, dass, wenn der locale Tetanus dann aufhörte — wie das wirklich einmal alles geschehen ist — nichts daraus folgte. Soviel kann man aber mit Sicherheit sagen, dass der tonische wie der clonische Krampf beim Tetanus ihren Sitz ausschliesslich im Rückenmark haben. Denn Clonus und Tonus folgen häufig einander und bestehen beide nach Rückenmarkdurchschneidung fort.

Entstehung des localen Tetanus.

Wenn wir zwar den Sitz des Tetanus im Rückenmarke kennen, so bietet doch die Erklärung des lokalen Tetanus erheb-

1) Deutsche med. Wochenschrift 1894, Nr. 5.

liche und, wie ich gleich gestehen will, nur mit Hülfe von Hypothesen lösbare Schwierigkeiten.

Wie es kommt, dass ein injicirtes Hinterbein viele Stunden allein tetanisch sein kann, bevor der übrige Körper es wird, und bis zum Tode in diesem Zustande bleibt; wie es kommt, dass selbst, wenn der generelle Tetanus nicht eintritt, die lokale Steifigkeit oder erhöhte Reflexerregbarkeit eines einzigen Gliedes wochenlang fortbesteht, das erscheint zunächst unerklärlich.

Bedeutung des Wundreizes.

Der nächstliegende Gedanke ist wohl, dass der Wundreiz es ist, der bei der allgemein gesteigerten Reflexerregbarkeit lokal irritirend wirkt. Namentlich bei den Chirurgen erfreute sich diese Annahme stets einer gewissen Beliebtheit. Rose[1]) sagt: „Der Starrkrampf geht aus von irgend einer Reizung des Nervensystems, wie sie besonders leicht in wunden Flächen durch Vernachlässigung, Misshandlung und Temperaturwechsel entsteht.“ Faber[2]) erzählt, dass ein Mann in Folge einer Handwunde Trismus bekam. Zufällig luxirte sich der Patient den rechten Oberarm und zeigte jetzt ausgesprochene Contractur der Arm- und Schultermuskeln. So lange man mit unreinen, Eitercoccen enthaltenden Culturen den Tetanus übertrug, wie es Nikolaier that, oder durch ausgeschnittene, meist eiternde Wundpartien, so lange konnte von einem Wundreiz in der That die Rede sein. Aber auch Brieger[3]), der nur das Filtrat solcher Culturen übertrug, hatte denselben Erfolg. Und seit Faber[4]) und Kitasato[5]) sind die besagten Erscheinungen in reicher Wiederholung durch das bacterienfreie Filtrat von Reinculturen hervorgerufen worden. Immerhin ist auch dieses Filtrat nicht völlig reizlos für die Gewebe: Zwei meiner Kaninchen bekamen, wohl hauptsächlich durch die in grossen Dosen mit übertragene Bouillon, ausgedehnte Hautgangrän, eines eine Schrumpfung und Verhärtung der ganzen Weichtheile des Oberschenkels.

---

1) v. Pitha u. Billroth, Chirurgie Bd. 1, p. 73. Ueber den Starrkrampf.

2) Berlin. klin. Wochenschr., 1890, Nr. 31.

3) D. med. Wochenschr., 1887, S. 303.

4) l. c.

5) Zeitschr. f. Hygiene, Bd. 10, p. 267.

Zur Orientirung darüber, ob der Wundreiz beim lokalen Tetanus im Spiele sei, schickte ich einige Strychninversuche voraus.

Versuch 18. Ein Frosch mit zerbrochenem Schenkel, der gleich darauf Strychnin injicirt bekam, zeigte keine Bevorzugung des verletzten Beines durch die Krämpfe.

Ein Kaninchen (29. 8. 1893) erhielt 3,0 Terpentinöl in die rechte Hinterpfote. Nach Strychninvergiftung traten die bekannten Laufbewegungen ein. Nach Ablauf jedes einzelnen Anfalles blieb die geimpfte Pfote gestreckt, die andere blieb angezogen; unter 50 solcher Anfälle war es nur einmal umgekehrt. Ganz ähnlich verhielt sich ein zweites Kaninchen, welches mit Terpentin getränkte Wattebäusche unter die Haut einer Pfote erhielt; nur starb dasselbe schon im fünften Anfalle.

Es wurden nun 6 Mäuse zu gleicher Zeit rechts mit Tetanus, links mit Terpentin 0,1 geimpft; sämmtliche starben an Terpentinvergiftung. Die Injection von Crotonöl wurde besser vertragen.

Versuch 19. 2 Mäuse. 0,2 Tetanuscultur in rechtes Hinterbein; zwei Tropfen Crotonöl in linkes Vorderbein. Nach 16 Stunden rechtes Hinterbein stark gestreckt. Pleurothotonus nach rechts; beide Mäuse auf die Tischplatte gesetzt, laufen wie Uhrzeiger im Kreise nach rechts. Linkes Vorderbein unbeweglich, gestreckt, blauroth, geschwollen, aber bei passiven Bewegungen lose. Beide todt nach $1^1/_2$ Tagen, charakteristische Todtenstellung des rechtsseitigen Tetanus.

Hier hatte also der intensive Wundreiz des Crotonöls keinen Einfluss auf die Verbreitung des Tetanus gehabt. Niemals ferner konnte bei einem rechtstetanischen Thier durch Stechen oder Kneifen ein Linkstetanus ausgelöst werden. Der Gedanke an einen sensiblen Reiz als Ursache des lokalen Tetanus musste deshalb aufgegeben werden.

Nervenleitung.

Es war nun denkbar, dass, indem das Gift von der Impfstelle durch die Nerven zum Rückenmark geleitet wurde, eine lokale Contractur bedingt wurde. Diese Nervenleitung des tetanischen Giftes ist denn auch der springende Punkt für die neueren Untersuchungen über die Verbreitung des Tetanusgiftes im Körper geworden. Der Beweis für die Leitung durch die Nerven in das Centralorgan wurde zunächst durch Impfung in den Nervenstrang versucht.

Bruschettini (l. c.) ebenso wie Tizzoni und Cat-

tani erzielten damit positive Erfolge. Aber ebenso wie bei subcutaner Impfung das Gift in die Nerven hineinkommt, so kann es bei intraneuraler Impfung auch wieder zurück diffundiren. Der positive Erfolg der Nervenimpfung ist also noch kein Beweis für die Nervenleitung.

Beweisender wäre es, wenn der Nerv oder das zugehörige Rückenmarkstück eines tetanischen Gliedes durch Nachweis darin enthaltener Bacillen oder durch Verimpfung als Träger des Giftes erkannt werden könnte. Ueber die in dieser Richtung angestellten Versuche folgt hier eine kurze Uebersicht.

Bacillen im Gehirn oder in den Nerven sind selten gefunden. Nikolaier sah den Tetanusbacillus unter seinen zahlreichen Experimenten nur zweimal im Rückenmark und einmal im Nervus ischiadicus.

Rosenbach[1]) begegnete den Bacillen im Rückenmark von zwei tetanischen Kaninchen, wenn auch sehr vereinzelt. Ausser ihnen erhoben nur noch Tizzoni u. Cattani (l. c.) und Dor einen positiven Befund.

Dor[2]) impfte mit menschlichem Liquor cerebro spinalis, den er von einem Tetanus-Falle entnommen hatte, Kaninchen intracraniell, sie bekamen keinen typischen Tetanus, aber aus ihrem Gehirn wurden Bacillen cultivirt, die, wieder intracraniell verimpft, bei den neuen Versuchsthieren nun Tetanus erzeugten. Dor's Experimente würden noch beweisender sein, wenn das Ausgangsmaterial nicht von einer Schädelfractur gestammt hätte; so beweisen sie, streng genommen, nur, dass Flüssigkeit aus der Umgebung einer tetanogenen Wunde inficirt ist. Kitasato fand den Bacillus nie tm Nervensystem, ebensowenig Faber.

Ausführlicher sind die Angaben über die Toxicität von Nerven und Centralorganen. Viele Angaben, auch der besten Autoren, lauten allerdings negativ. Von älteren erfolglosen Uebertragungsversuchen des Nervensystems seien die von Nocard, Kirmisson, Scannel und Polaillon erwähnt. Kitasato, einer der besten Tetanuskenner[3]), fand Nerven- und

1) Arch. f. klin. Chirurg., 34, 1886.
2) Semaine méd., 1890, Nr. 22.
3) Zeitschr. f. Hygiene, VII, 1889.

Centralnervensystem nie toxisch. Ebenso erging es Sormani[1]), der das Gehirn tetanischer Hunde verimpfte, ferner Fermi und Celli[2]) und Camara Pestana[3]), der den Nerven selbst bei den grössten Tetanusgaben jede Toxität abspricht.

Allein wir müssen hier uns Verhoogen und Baert anschliessen: Le grand nombre des échecs obtenus par de précédents expérimentateurs ne prouve rien contre cette opinion. Un seul résultat positif prouve, au contraire, beaucoup pour elle. Die genannten Autoren haben selber positive Resultate gehabt: En inoculant sous la dure mère les bulbes de lapins expérimentalement tétanisés, nous avons toujours obtenu un tétanos complet au bout de 20. heures. Eduardo F. Plâ[4]), Ballance und Lingard[5]) hatten dieselben Resultate.

Shakespeare[6]) impfte mit dem Hirn- und Rückenmark eines an Tetanus gestorbenen Pferdes und Maulesels Kaninchen subdural stets mit positivem Erfolge.

Sanchez-Toledo und Veillon[7]) berichten, dass von 8 mit Rückenmarksubstanz geimpften Thieren 2 an Tetanus zu Grunde gingen.

Immerwahr[8]) fand das Hirn eines Tetanus-Kaninchens toxisch, Brunner[9]) den Nervus facialis eines an Kopftetanus gestorbenen Menschen.

Die sichersten Beweise aber wurden von Bruschettini[10]) beigebracht. Bruschettini stellte, um eine Beimischung von Blut — das von fast allen Autoren als toxisch befunden worden ist — zu den Versuchsorganen zu vermeiden, eine künstliche Circulation mit 10 % Sodalösung an den tetanischen Thieren her.

---

1) Giorn. della R. societá ital. d'igiene, 1892, Ref. Baumgartens Jahresbericht 1892.

2) Rif. méd., 1892, 189, Cit.

3) Sem. méd., 1892, Juli.

4) Medicina pract., 17. April 1889, cit.

5) In Andersen; Lancet, 4. Febr. 1888.

6) Centralblatt f. Bacteriol., 1887, Nr. 18.

7) Arch. méd. expér. et d'anat. pathol., 1890, Nr, 1.

8) Deutsche med. Wochenschr., 1891, Nr. 30.

9) l. c. p. 322.

10) Sulla diffusione nel organismo del veleno del tetano, Estratto della Rif. med. Ottobre 1890 und Luglio 1892.

Die Verimpfungen ihres Nervensystems ergaben dann in der überwiegenden Mehrzahl positive Resultate, so zwar, dass immer der der Impfstelle zunächst liegende Theil des Nervensystems im aufsteigenden und absteigenden Sinne, das Gift enthielt: „Risulta, que il veleno del' tetano oltre che per il sangue si diffonde al sistema nervoso centrale e che questa diffusione . . . avviene nel sistema nervoso tauto in senso ascendente que discendente e dalla parte più vicina a quella, nella quale e stata praticata l'inoculazione, verso le più lontane.

Leider scheiterte der Nachweis des Giftes bei lokalem Tetanus im Kaninchenrückenmarke ganz, im Meerschweinchenrückenmarke in der Hälfte der Fälle. Und gerade der lokale Tetanus bedarf der Aufklärung. Diesen für uns wichtigsten Punkt haben wir selber nachgeprüft, mit gleichfalls negativem Erfolge.

Versuch 19. Kaninchen mit lokalem Tetanus der rechten Hinterpfote wird getödtet; die Lendenanschwellung und der rechte nervus ischiadicus mit einigen Tropfen sterilen Wassers verrieben und je 0,2 ccm davon zwei weissen Mäusen eingespritzt. Beide starben nach 2 bezw. 3 Tagen ohne Tetanus.

Immerhin kann es nach all diesen Versuchen nicht zweifelhaft sein, dass das Centralnervensystem und die peripheren Nerven tetanischer Thiere das Tetanusgift zuweilen enthalten, und es ist nicht auszuschliessen, dass an den negativen Fällen nur die Kleinheit der verimpfbaren Dosis die Schuld trägt. Dass das Gift einfach aus dem Blute dort abgelagert sei, ist nach Bruschettini's erwähnten Untersuchungen nicht wahrscheinlich, denn die Prädilection für den geimpften Bezirk wäre dann nicht erklärlich.

Der bindende Beweis für eine Nervenleitung des Giftes ist also bisher nicht geführt, dieselbe bleibt eine Hypothese. Wenn wir sie aber als Aushülfsmittel annehmen, so müssen wir fragen: In welcher Weise findet nun die Leitung von Flüssigkeiten in den Nerven und im Rückenmarke statt?

Die Injections-Versuche von Key und Retzius geben hierüber Auskunft.

Nach Key und Retzius[1]) sind nach Injection farbiger Masse

---

1) Studien in der Anatomie des Nervensystems und des Bindegewebes, Stockholm, 1875, Norstedt; und Studier i. Nervosystemi anatomi, Stockholm 1872, Norstedt und Löner. Taf. II, Fig. 23 u. 29.

(Richardsons Blau) in den Subduralraum schon bei niedrigem Drucke die peripheren Nervenstämme oft durch die Ganglien hindurch und bis weit in die Zweige hinaus von der Injectionsmasse erfüllt. Stich-Injectionen in das Ganglion oder in den Nerven bewirken, dass die Injectionsmasse das Perineurium nach allen Richtungen durchsetzt, ja sie dringt in das Endoneurium ein und isolirt die einzelnen Fasern von einander. Stichinjectionen endlich in das Rückenmark zeigen die Injectionsmasse vom Injectionsorte aus, sich überall im Rückenmarke ausbreiten, nicht nur der Länge nach in beiden Richtungen, sondern auch der Quere nach.

Diese Verbreitungsweise der in die nervöse Bahn injicirten Flüssigkeiten harmonirt ohne Zweifel in hohem Grade mit der Verbreitung des tetanischen Giftes. Nach Injection in das Hinterbein steigt das Gift mit Leichtigkeit in den zahllosen Lymphräumen der Nerven aufwärts, und im Rückenmarke angelangt, verbreitet es sich nach unten und oben also auf die Centren von Schwanz und Rückenmuskeln ebenso wie in die Quere auf die Ganglienzellen des andern Hinterbeines. Es bleibt nur ein unklarer Punkt in dieser scheinbaren Harmonie: die Lymphbahnen des Nerven kommuniciren überall mit dem Subdural-Raum des Rückenmarks und können von letzterem aus mit Injectionsmasse gefüllt werden. Das Gift müsste also, wenn es in die grossen das Rückenmark umgebende Lymphräume gekommen ist, einen generalisirten Tetanus auslösen. Es sei denn, dass dieses Gift, auch wenn es in den Subdural- bezw. Subarachnoideal-Raum gelangt, doch lokalisirte Krämpfe auslöst.

Diese für unser Thema wichtigste Frage: nach dem Tetanusablauf bei Impfung in den Subduralraum haben wir experimentell zu beantworten gesucht.

Verlauf des Tetanus nach subduralar Inoculation.

Die Autoren, welche subdurale Impfungen vorgenommen haben, erwähnen meist nur den positiven oder negativen Erfolg und nicht den Gang der Krankheit (Bruschettini, Kitasato, Verhoogen et Baert, Dor, Shakespeare). Nur Vaillard et Vincent und Tizzoni und Cattani haben die primäre Lokalisation der Contracturen am Kopfe, wenn auch nicht gerade auf der der Impfung entgegengesetzten Hälfte schon beschrieben. Da-

gegen gelang es Brunner (l. c.) durch subdurale Impfung an einer Hirnhälfte einen Facialis-Tetanus der andern Seite hervorzurufen. Wir versuchten zunächst die Impfung am Kopfe:

Versuch 20. 6. 7. 94. Meerschweinchen, 340 gr Resection des rechten Schädeldaches zwischen Orbita und Ohr. Eine feine Pravaznadel wird unter die Dura nach rechts eingestochen und es werden wenige Tropfen einer 1/2 Jahre alten unter H aufbewahrten Reincultur eingespritzt. Sofortige Desinfection der Wunde mit Sublimat 1‰. Nach 26 Stunden Contractur der linksseitigen Facialis muskulatur, namentlich der Schnauze; rechts Spuren von Facialisparese, der Lidschluss erfolgt unvollkommen oder gar nicht. Gleichzeitig allgemeiner Tetanus, links stärker als rechts, keine tonische Contractur irgend einer Extremität. Nach weiteren 28 Stunden unter heftigen Krämpfen todt. Die Extremitäten nach wenigen Minuten gleichzeitig todtenstarr, Rumpfkrümmung etwas nach links.

Durch subdurale Inoculation des Tetanusgiftes am Gehirn lässt sich also eine lokale Contractur und zwar des Facialis der anderen Seite hervorrufen.

Es gelingt aber nicht immer diesen Symptomkomplex durch Subdural-Impfungen am Hirn hervorzurufen, eine Wiederholung meines Versuches am Meerschweinchen ergab allgemeinen Tetanus ohne Bevorzugung des Kopfes. Man verbreitet offenbar durch Injection unter Druck das Gift weithin über die Grenzen der betreffenden Kopfnerven hinaus und jedenfalls in anderer Weise als dasselbe bei subkutaner Impfung in den Subduralraum gelangt.

Günstiger für den Versuch liegen die Verhältnisse am Rückenmarke, trotzdem habe ich ein verwerthbares Protokoll für den physiologischen Effect der subduralen Rückenmarksimpfung in der Litteratur nicht auffinden können. In der Gegend der Lendenanschwellung, subdural injicirt, trifft das Gift, mag es nach oben oder nach unten injicirt werden, weithin nur die relativ leicht zugänglichen Ganglienzellen für die hintern Extremitäten. Hier also musste, sofern unsere Vorstellungen über die Pathogenese des Tetanus der Wirklichkeit entsprachen, sich der lokale Tetanus durch Injection in den subduralen Lymphraum reproduciren lassen. Ich lasse meine Versuche über diesen Punkt hier folgen, bemerke aber, dass gerade bei diesem Versuche leicht Verletzungen des Marks unterlaufen, wonach sich natürlich nur allgemeiner Tetanus ohne oder mit leichter Betheiligung der Hinterbeine einstellt.

Versuch 21. 18. 3. Meerschweinchen, 325 gr. Eröffnung des Wirbelkanals über der Lendenanschwellung des Marks. Injection weniger Tropfen

decantirter $1^1/_2$ Monate alter Reincultur. Sorgfältiges Auswaschen der Wunde mit Sublimat. Jodoform. — Naht. — 20. 8. Das Thier ist sehr unruhig, quiekt häufig ohne Veranlassung, läuft rastlos umher. Motilität der Hinterbeine intakt. 21. 8. Beide Hinterbeine schlaff, schleppen beim Gehen bewegungslos nach. 22. 8. Beide Hinterbeine starr nach hinten, nur mit Gewalt zu biegen, von Zeit zu Zeit intensiv zitternd. Der übrige Körper frei von Tetanus, nur allgemeine Erregung und Aengstlichkeit, keine Convulsionen. Abends 6 Uhr Photographie (Fig. 5). 23. 8. Allgemeine Convulsionen, Starre des ganzen Körpers, aber vorzugsweise der Hinterbeine, welche völlig starr wie Hölzer nach hinten stehen; Laufbewegungen der Vorderbeine. Dyspnoe. Das Thier liegt auf der Seite. Tod in der Nacht.

Es ist also hier entsprechend den natürlichen Verhältnissen durch Einbringung des Giftes in den Subduralraum ein lokaler Tetanus des Hinterkörpers zu Stande gekommen. Dass hier Lähmungssymptome unterlaufen, nimmt den Tetanuskenner nicht Wunder. Das Tetanusgift enthält eine lähmende Componente, die nur seltener als die krampferzeugende zur Erscheinung kommt, aber dann den Krämpfen vorausgeht, bezw. sie unmöglich macht. Rose hat sie zuerst beim Kopftetanus bemerkt[1]); Klemm[2]) fand unter 20 Fällen von Kopftetanus 11 Mal zugleich mit dem Trismus die Facialisparese. Brunner[3]) gibt eine Zusammenstellung aller Fälle von Facialislähmung ohne Contractur. v. Wahl, Rose, Jueterbock, Middeldorpf, Bernhardt[4]), haben im Gebiete der gelähmten Gesichtsmuskeln tonische und klonische Krämpfe beschrieben. Von Thieren zeigen namentlich Frösche diese vorausgehende Lähmung häufig. Vielleicht sind die Culturmedien mit daran schuld. — Was aber an dem Versuche noch nicht völlig den natürlichen Verhältnissen entspricht, das ist das gleichzeitige Erscheinen des Tetanus in beiden Hinterbeinen. Wenn man auch der Gewalt der Injection, die das Gift sofort weithin verbreitet, Rechnung trägt, so bleibt doch ein leiser Zweifel, ob diese Art der Tetanusentstehung der natürlichen, die zuerst stets eine Seite allein betrifft, entspricht. Wir glauben diesen Zweifel durch einen zweiten Versuch gleicher Art im Wesentlichen beseitigen zu können.

Versuch 22. Meerschweinchen, 310 gr. 12. 7. Nachmittag Freilegung

1) l. c.

2) Deutsche Zeitschr. d. Chirurgie XXIX, 1888, p. 172.

3) l. c. p. 269.

4) Zeitschr. f. klin. Med., 1884, VII.

des Wirbelkanals. Eine kleine Pravazspritze mit Asbeststempel und feiner Canüle, wird in der Mitte unter die Dura gestochen und nach rechts unten geführt. Injection einer Spur filtrirter Tetanuscultur an der rechten Seite der Lendenanschwellung. Desinfection der Wunde mit Sublimat 1⁰/₀₀; Jodoform. Naht. — 13. 7. Leichte Streckung des rechten Hinterbeines nach vorn und seitlich. Abends: Beide Hinterbeine schleppen beim Laufen nach, sind etwas steif; beim Sitzen zeigt das rechte deutlich nach vorn und seitlich. Erhöhte Reflexerregbarkeit des rechten Hinterbeins; beim Beklopfen der Tibia beim Aufschlagen auf die Unterlage geräth dasselbe in einen Zitterkrampf, das linke zeigt alle diese Erscheinungen nicht. — 14. 7. Völliger Strecktetanus beider Hinterbeine, Laufbewegungen der Vorderbeine, Rücken steif, Seitenlage, Dyspnoe; beide Seiten jetzt gleich stark betroffen. Tod 42 Stunden nach der Impfung.

Hier ist also nicht nur der Tetanus des Hinterkörpers sondern auch sein Beginn im rechten Beine durch rechtsseitige Subduralimpfung an der Lendenanschwellung hervorgerufen.

Wir erklären uns diese lokale Wirkung dadurch dass das Tetanusgift in concentrirtem Zustande eine viel schnellere Wirkung hat als in geringen Dosen. Im Experimente der Rückenmarkimpfung, wie bei der natürlichen Zuleitung des Giftes durch die Nervenlymphscheiden, wird die zuerst getroffene Stelle des Rückenmarks am schnellsten erkranken, die folgenden, welche das Gift in verdünnter Form erhalten, viel später. Also es ist die grosse Abhängigkeit der Incubationszeit unserer Krankheit von der Giftdosis — bei Mäusen schwankt die Incubationszeit je nach der Dosis von 8 Stunden bis 3 Tagen, beim Kaninchen von 1 bis 6 Tagen — es ist diese Abhängigkeit der Incubationszeit, welche das lange Isolirtbleiben in einem Gliede bedingt. Das Gift ist längst im ganzen Körper verbreitet. Kartulis[1]) hat es unter Koch's Leitung schon während des Anfangstetanus im Blute gefunden, und wir selbst sind durch die Unruhe unserer Thiere, noch vor Auftretendes lokalen Tetanus, öfters auf die bereits bestehende Allgemeinwirkung aufmerksam geworden. Nur das Eintreten der Krämpfe für die nicht geimpften Körpertheile ist entsprechend der Verdünnung des sie treffenden Giftes verzögert.

---

1) Diss. Berlin, 1892. Untersuch. über das Verhalten des Tetanusgiftes im Körper.

Dauer der Tetanusgiftwirkung.

Es soll noch von einer eigenthümlichen Wirkung des Tetanusgiftes hier die Rede sein. Das Tetanusgift hat nämlich die merkwürdige Eigenschaft, nach einmaliger Impfung dauernde Krämpfe zu verursachen, obgleich es nachweislich (Brunner[1]), Bruschettini[2]) u. A.) durch den Urin ausgeschieden wird.

Ich will in dieser Beziehung nicht alle Versuche einzeln aufführen; viele meiner Kaninchen hatten nach einmaliger Impfung mit dem Culturfiltrat wochenlange tetanische Erscheinungen in einem Hinterbeine. Zwei der merkwürdigsten Versuche möchte ich aber doch etwas ausführlicher wiedergeben.

Versuch 23. 28. 10. 93. Frosch mit 0,2 ccm filtrirter virulenter Tetanuscultur geimpft. Bleibt wochenlang gesund und schliesslich unbeachtet. Am 38. Tage wird er bei zufälliger Inspektion schwer tetanisch angetroffen, der Tetanus dauert 35 Tage mit unverminderter Heftigkeit an. Das Thier geht bei einer Rückenmarksoperation zu Grunde.

Noch wunderbarer verlief folgender Tetanus beim Frosche:

Versuch 24. 24. 2. 94. Frosch. Impfung mit 1 ccm virulenten Filtrats. Wird im Brutschrank aufbewahrt bei 35° und leicht geöffneter Thür, erhält täglich 2 Mal frisches Wasser. 7. 3. Der Frosch wird auf dem Rücken liegend angetroffen, allgemeine Parese. 8. 3. Deutlicher Tetanus, Vorderbeine völlig steif, halten den Oberkörper unbeweglich hoch, Hinterbeine in halber Streckstellung, Füsse mit der Volarseite nach oben, Kopf in den Nacken hinüber gebogen, beim leisesten Geräusche heftige Streckkrämpfe, auch die Hinterbeine gehen bald in völlig steife Streckstellung über, nachdem der Frosch sofort aus dem Brutschranke herausgenommen und in ein weiteres, die völlige Streckung erlaubendes Gefäss gebracht ist. 1. 4. Unter allmählichem Nachlass der Streckkrämpfe hat sich eine vollständige Lähmung herausgebildet, der Frosch liegt schlaff, langgestreckt auf dem Bauche. 20. 5. Es erscheinen wieder einige leichte Streckkrämpfe. 25. 5. Tetanus von mittlerer Intensität voll entwickelt. Leises Anklopfen an das Glas bewirkt heftigsten Streckkrampf. 10. 6. Zustand unverändert, seit längerer Zeit Decubitus an den aufliegenden Ellenbogen. 11. 6. Das Wasser ist zufällig nicht gewechselt und trüber geworden, der Frosch wird todt darin aufgefunden.

Das Tetanusgift hat hier seine Wirkung auf rund 4 Monate erstreckt nach einmaliger Injection, und man ist wohl berechtigt anzunehmen, dass hier das Gift längst aus dem Körper geschwunden

1) Berlin, klin. Wochenschr. 1891. No. 36.

2) Rif. med. u. 93. Aprile 1892 (Estratto).

war, während seine Wirkung noch fortbestand. In diesem Punkte sind in letzter Zeit interessante Beobachtungen von *Harnack*[1]) über die Erzeugung dauernder Krampfzustände beim Frosche durch einmalige Vergiftung bekannt geworden. *Harnack* konnte durch Injection von Strychninpolysulfid einen 3 Wochen lang dauernden Krampfzustand bei Winterfröschen erzeugen. Nach Einathmung von Schwefelwasserstoff sah er Krämpfe eintreten, welche monatelang dauerten.

Das Tetanusgift theilt also mit einzelnen andern Giften die Eigenschaft, durch einmalige Vergiftung dauernde Wirkungen hervorzurufen.

Résumé.

Wir sind zu folgenden Resultaten bisher gekommen:

Curarevergiftung und Durchschneidung des zu einem Muskel gehörigen motorischen Nerven lässt den Tetanus verschwinden, — die Zuckungskurve eines direct gereizten Muskels des tetanischen Beines ist normal, falls nicht durch die Contraction sekundäre Starre des Muskels eingetreten ist. Eine solche Muskelstarre im lebenden Körper des tetanischen Thieres hat häufig statt, sie wird eingeleitet durch Abnahme der electrischen Erregbarkeit.

Die motorischen Nerven werden in keiner Weise durch das Tetanusgift verändert.

Die Zuckungskurve des indirect, vom Nerven aus, gereizten Muskels im Tetanus ist normal. Bei längerer Contractionsdauer des Muskels sinkt auch die Erregbarkeit vom Nerven aus. Das Rückenmark, und Stücke desselben im Zusammenhang nur mit den dazugehörigen peripheren Nervenbahnen genügen allein zur Hervorrufung der tetanischen Krämpfe; diese verschwinden bei Zerstörung des Markes bezw. bei Abkühlung desselben durch Operationen und werden vermindert durch central wirkende Anästhetika, Chloroform, Chloral, Morphium.

Zeichen einer Beeinflussung der sensiblen Nervenendigungen durch das Tetanusgift sind nicht vorhanden: denn die Krämpfe der tetanischen Thiere lassen sich ebensogut durch periphere Reize als durch Rückenmarksreizung auslösen. Durchschneidung der hintern

---

1) Fortschr. d. Med., Bd. XII, 1894, Nr. 13.

Rückenmarkswurzeln eines Beines mit nachfolgender Impfung in dasselbe verhindert nicht das Eintreten des lokalen Tetanus der Extremität.

Das Tetanusgift ruft also Krämpfe hervor vermöge einer erhöhten Reflexerregbarkeit des Rückenmarks. Es greift weder die motorische noch die sensible Bahn an, es wirkt, wenn auch in Einzelheiten abweichend, im Prinzip doch genau wie das Prototyp der krampferregenden Cerebrospinalgifte, das Strychnin.

Versuch einer rationellen Darstellung der Tetanuskrankheit bei Thieren und Menschen.

Um aus diesen Elementen die Symptome des Tetanus physiologisch zu entwickeln, brauchten wir einige Hülfssätze, die wir aus der Litteratur und eigenen Beobachtungen entnahmen, nämlich:

1. Die Nerven und die nervösen Centralorgane tetanischer Thiere enthalten häufig das Gift so zwar, dass dieses sich von der Impfstelle in auf- wie absteigender Richtung ausbreitet.

2. Flüssigkeiten, die in den Nerven injicirt sind, werden in den peri- und endoneuralen Lympfräumen des Nerven weiter geleitet, welche mit dem Subduralraum in überall offner Communikation stehen.

Der Verlauf des Tetanus, pathologisch-physiologisch verfolgt, geht nun so vor sich:

1. Lokaler Tetanus.

Nach Impfung in einem Körpertheil, nehmen wir als Beispiel in das Hinterbein, wird das Gift, wie alle löslichen Gifte, baldigst vom Blute im ganzen Körper herumgeführt, und ist schon während der allerersten Stadien im Blute nachweisbar. Die Verdünnung des Giftes im Blute ist aber eine derartige, dass sie eine sehr lange Incubation der zu erwartenden Krämpfe bedingt, nur eine leichte Reizbarkeit und Unruhe des Thieres verräth die schon einsetzende allgemeine Vergiftung. Zu gleicher Zeit wird das Gift dem Subduralraum der Lendenanschwellung zugeführt, wahrscheinlich durch die Lymphräume der peripheren Nerven, mit denen ein kleiner Theil auch direct ins Rückenmark gelangen mag. Entsprechend der stärkern Concentration des Virus wird hier der lokale Tetanus ausgelöst, genau so, wie im Experimente durch

Subduralinjection des Giftes lokaler Tetanus einer Extremität ausgelöst wurde. Ist nun die Giftdosis klein genug, so erschöpft das Gift seine Wirkung an den zuerst getroffenen Centren, und es bleiben die allgemeinen Convulsionen ganz aus, die lokale Starre eines Beines kann dann Wochen lang alleine anhalten, weil eine einmalige Vergiftung mit Tetanusgift (in ähnlicher Weise wie Strychninpolysulfid oder Arsenwasserstoff) zu langandauernden Krämpfen Anlass geben kann, trotzdem eine Ausscheidung des Giftes durch die Nieren stattfindet,

2. Fortschreitender Tetanus.

Das Gift verbreitet sich nun in den subduralen und intramedullären Lymphräumen der Quere und der Länge nach weiter, genau wie in den Key- und Retzius'schen Injectionsversuchen. Welches Organ — in unserem Beispiel Schwanz, anderes Hinterbein oder gleiches Vorderbein — zunächst die Wirkung des im Centralorgan vorwärts schreitenden Giftes zeigt, das ist bis zu einem gewissen Grade zufällig, wie es die gerade herrschende Lymphströmung bedingt. Niemals aber wird ein der Impfstelle zunächst liegender Bezirk von einem auf demselben Wege ferner liegenden überholt.

Eine Ausnahme macht hier der Trismus des Menschen, bekanntlich häufig das erste Symptom der Infection. Hier muss eine Disposition der betreffenden Centren für das Tetanusgift angenommen werden. Aber wir erkennen auch in dem menschlichen Tetanus durch immer wiederkehrende Fälle von primären Contracturen in dem verwundeten Bezirke den Grundtypus des experimentellen, wenn auch entsprechend dem hoch differenzirten Organismus etwas modificirt, wieder. Anklänge an dieses Verhalten finden sich schon bei einigen höheren Säugern (Pferd, Esel). Der stets generalisirt auftretende Tetanus des Frosches erklärt sich wohl durch die schnelle Ausbreitung des Giftes in den ausserordentlich ausgedehnten Lymphräumen dieses Thieres. Culturen von grosser Giftigkeit scheinen ebenso vom Subcutangewebe aus sehr rasch generellen Tetanus zu verursachen: Eine Katze von Harnack[1]) bekam 17 Minuten nach der Injection am Nacken

---

1) Zeitschr. klin. med., XXV, p. 52.

den ersten gleich allgemeinen Krampfanfall und starb innerhalb von 2 Stunden am Tetanus.

3. Generalisirter Tetanus.

Unterdessen ist die Incubation für die Wirkung des Giftes vom Blute aus abgelaufen, und es treten jetzt allgemeine Convulsionen auf, in welchem Zeitpunkte, das hängt von der Dosis ab. Werden die Nerven des geimpften Hinterbeines durchschnitten, so bewirkt doch derjenige Theil des Giftes, welcher in der weitern Umgebung der Injectionsstelle noch intacte Nervenlymphbahnen trifft, einen Tetanus des Hinterkörpers. Wird dagegen das Rückenmark durchschnitten — was ich gerade mit Rücksicht auf diesen Punkt mehrfach wiederholt habe — so hört von der Durchschneidungsstelle ab nach oben sowohl das schrittweise Fortschreiten der Krankheit auf Schultern, Vorderbeine und Kopf auf, als auch lässt sich jenseits der Durchschneidung keine Bevorzugung der geimpften Seite mehr erkennen, der ganze Vorderkörper ist vielmehr gleichmässig steif oder von Convulsionen geschüttelt.

Die Lähmungen im Gefolge des Tetanus, z. B. die Facialislähmung bei Kopftetanus oder die langdauernden Paralysen des Frosches sind sicher zum Theil aus einer Contractur der betreffenden Muskelgebiete hervorgegangen und werden dann durch das nachgewiesene Sinken der electrischen Erregbarkeit bei länger dauernder Muskelkontraction verständlich. Das Tetanusgift enthält aber auch eine lähmende Componente, die im Kopftetanus, beim Tetanus des Frosches und zuweilen auch bei anderen Thieren erscheint.

Auf diese Weise lässt sich, so weit ich sehen kann, das räthselvolle Krankheitsbild des Tetanus aus denjenigen pathologisch-physiologischen Anschauungen heraus, welche zur Zeit herrschen, erklären.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg.)

Ueber die Wirkung des galvanischen Stroms bei der Längsdurchströmung ganzer Wirbelthiere.

Zweite Mittheilung[1]).

Von

J. Rich. Ewald.

Mit 1 Textfigur.

Die Hermann'schen Versuche[2]) über den Galvanotropismus werden stets durch die Eigenart ihrer Erscheinung das Interesse der Physiologen in ausserordentlichem Maasse fesseln. Am einfachsten und zu gleicher Zeit am meisten imponirend stellt man die Versuche mit einer grossen Zahl nicht zu junger Froschlarven[3]) an und Hermann hat völlig recht, wenn er sagt „nichts ist zierlicher als das gleichzeitige prompte Umkehren Hunderter von Larven mit der Lage der Wippe".

Diese Hermann'schen Versuche haben überdies noch den grossen Vorzug, dass sie stets gelingen. Ich habe sie sehr oft wiederholt und anderen Personen demonstrirt, und niemals eine Ausnahme von der Regel gefunden. Aus diesem Grunde eignen sie sich auch ganz besonders gut zu Vorlesungsversuchen. Wegen der Kleinheit der Froschlarven ist es aber wünschenswerth, den Vorgang im stark vergrösserten, projicirten Bilde zeigen zu können, und es ist daher vielleicht nicht überflüssig, wenn ich mit wenigen Worten angebe, wie ich die Projection in einfacher Weise ausgeführt habe.

1) Die vorige Mittheilung befindet sich in diesem Arch. Bd. 55. p. 606. Dazu eine Berichtigung Bd. 56. p. 354.

2) Dies. Arch. Bd. 37. p. 457 u. Bd. 39. p. 414.

3) In der vorliegenden Mittheilung wird nur das Verhalten der Froschlarven besprochen werden.

Der Hermann'sche Galvanotropismus im projicirten Bilde als Vorlesungsversuch.

Der Boden des Troges, in dem sich die Froschlarven (oder kleinen Fische) befinden, muss aus einer glatten Glasplatte bestehen. Am besten verwendet man ein aus Glasscheiben zusammengekittetes Gefäss. Die Plattenelectroden werden in gewöhnlicher Weise an zwei gegenüberliegenden Wänden angebracht. Man stellt den Trog auf eine Glasplatte, welche horizontal in einiger Höhe über dem Tisch durch 2 Stative festgehalten wird. Grade unter dem Trog ist ein gewöhnlicher Spiegel unter 45° zur Horizontalen aufgestellt, und auf diesen wird das Licht der Projectionslampe gerichtet. Ein zweiter Spiegel ist über dem Glastrog ebenfalls unter 45° angebracht. Die durch den Trog gegangenen Lichtstrahlen werden durch ihn auf die Projectionsfläche geworfen. Diese Methode ist denen von Duboscq, Fergusson und anderen ähnlich, doch spart sie das 2. Objectiv und es genügt daher für sie jede gegewöhnliche Projectionslampe. Man erhält bei dieser Versuchsanordnung die Schattenbilder der Thiere, welche vollständig genügen, um die Erscheinungen des Galvanotropismus in sehr guter und wirkungsvoller Weise zur Anschauung zu bringen.

Ueber die Art und Weise wie der galvanische Strom die Drehung des Thieres bewirke, habe ich bereits in meiner vorigen Mittheilung Versuche [1]) angegeben, welche mich zu dem Schlusse kommen liessen, dass das durch den Strom gereizte Thier nicht etwa den Impuls zu einer Drehung erhalte, sondern die antidrome Lage nur „per exclusionem“ finde. So hat sich auch wohl Hermann von vornherein das Zustandekommen der Drehung vorgestellt. Besondere Versuche sind von ihm in dieser Hinsicht nicht angestellt worden. Da nun auf die eigentliche Art der Wirkung des galvanischen Stromes grosses Gewicht zu legen ist, scheint mir der folgende Versuch beachtenswerth, wenn er auch nur eine neue Stütze für die schon ausgesprochene Ansicht enthält.

Versuch.

Es sind nebeneinander 2 Glaströge A und B aufgestellt, welche beide völlig gleich in ihrer Einrichtung sind. In jedem der Tröge befinden sich

---

1) l. c. p. 612.

an 2 gegenüberliegenden Wänden Plattenelectroden, die die ganze Wand einnehmen und parallele Stromlinien in dem Wasser erzeugen. In beiden Trögen befindet sich eine grössere Anzahl gleicher Froschlarven. Die electrischen Zuleitungen zu A und B sind von einander unabhängig. Der Strom für A wird so gewählt, dass seine Stärke eben hinreicht, um in der von Hermann angegebenen Weise deutlichen Galvanotropismus der Froschlarven zu erzeugen. Die gleiche Intensität erhält der Strom für B. In diesem Stromkreis von B ist ein Graphitrheostat geschaltet, welcher durch einfache Drehung einer Kurbel um etwa 360° den Widerstand von 0—1000 Ohm stetig anwachsen lässt. Vorläufig steht die Kurbel bei 0. Es ist ferner eine Einrichtung getroffen, dass wenn man mit der Kurbel eine Umdrehung ausführt, dieselbe alsbald nach Verlassen des 0-Punctes gleichzeitig 2 electrische Contacte schliesst. Der erste bewirkt die Durchströmung von A, der zweite schliesst die Leitung für B, in welche der Rheostat selbst eingeschaltet ist. Die beiden Stromkreise werden also in demselben Moment geschlossen, während aber der durch A gehende Strom dauernd in gleicher Stärke geschlossen bleibt, nimmt der durch B gehende Strom sogleich continuirlich ab und die in B befindlichen Froschlarven werden daher nur ganz kurze Zeit durch den Strom von der ursprünglichen Stärke gereizt und sofort dann aus ihm hinausgeschlichen. Dies Herausschleichen der Thiere in B hat den Zweck eine Erregung im umgekehrten Sinne, die bei der plötzlichen Oeffnung des Stromes eintreten würde, zu vermeiden.

Zu beobachten ist bei diesem Versuche Folgendes. Die Froschlarven in A werden galvanotropisch gerichtet, die in B nicht. Und zwar werden die letzteren nicht gerichtet, obgleich sie zu einer Zeit, wo bereits alle Thiere in A in antidromer Lage zur Ruhe gekommen sind, sich noch in grösster Aufregung in Folge der Nachwirkung des anfänglich reizenden Stromes befinden.

Dieser Versuch scheint mir in beredter Weise gegen eine directe tropische Wirkung des Stromes zu sprechen. Er würde einen Theil seiner Beweiskraft nur dann verlieren, wenn man eine gleichzeitige doppelte Wirkung des Stromes, eine tropische und eine allgemein erregende, annehmen wollte. Dazu liegt aber bisher gar kein Grund vor. Unter allen Umständen beweist der Versuch, dass ein Strom, welcher galvanotropisch wirkt, auch gleichzeitig die Thiere allgemein erregt.

Wenn wir nun aber annehmen müssen, dass die Einstellung der Thiere nicht direct durch die Reizung des galvanischen Stromes zustande kommt, sondern erst eine weitere Folge der durch den Strom geschaffenen Zustände ist, so werden wir die galvanotropische Einstellung nicht als das Wesentliche der Versuche ansehen dürfen. So sehr auch die Umkehr der Thiere unsere Aufmerksamkeit

fesselt und so gross auch besonders bei Massenversuchen das Interesse ist, diese weitere Folge der neugeschaffenen Verhältnisse zu beobachten, der maassgebende und physiologisch in erster Linie wichtige Kern der Hermann'schen Versuche liegt in der Thatsache, dass der galvanische Strom die Thiere in homodromer Lage erregt, in antidromer Lage nicht erregt oder gar lähmt. — Wenn aber die antidrome Lage bei diesen Versuchen in Folge der starken, vielleicht schmerzhaften Erregung der Thiere in homodromer Lage aufgesucht wird, so ist es auch selbstverständlich, dass geringere Erregungen nicht zum Galvanotropismus führen. Sie sind deswegen nicht weniger wichtig. Uebrigens habe ich schon einen ganz deutlichen Galvanotropismus (freilich verursacht durch Erregung in antidromer Lage (vergl. unten p. 162 als Wirkung schwächster Ströme bei erst fünf Tage alten Larven (9 mm lange Larven von Rana temporaria) gesehen. Eine homodrome oder antidrome Locomotion konnte in diesem frühen Alter der Thiere noch nicht beobachtet werden. Hermann beschreibt homodrome Locomotion, die er an älteren Larven beobachtete. Seiner Erklärung derselben möchte ich nicht beitreten, weil ich sehr häufig kleine Fische in antidromer Lage unter der Einwirkung des Stromes rückwärts, also der Kathode zu schwimmen sah, während sie sonst sich nie rückwärts bewegten.

Es handelt sich daher für mich nicht um das Studium des Galvanotropismus, sondern um das Studium des diesem zu Grunde liegenden Erregungsgesetzes. Dementsprechend ist der Titel dieser Mittheilung sowohl wie auch der vorigen gewählt worden und dementsprechend wird auch in den folgenden Zeilen nicht der Galvanotropismus, sondern das Erregungsgesetz erörtert werden.

Oben wurde angegeben, dass die Hermann'schen Versuche über den Galvanotropismus ausnahmslos gelingen. Es würde also unter allen Umständen ausschliessliche Erregung bei homodromer Lage stattfinden müssen. Ist dies in strenger Weise richtig? Es ist insofern richtig, als man die ausschliessliche Erregung bei homodromer Lage stets findet, wenn man nicht ganz extreme, also nicht besonders schwache oder starke Stromstärken anwendet, sondern Ströme von mittlerer, ich möchte sagen, gewöhnlicher Stärke auf die Thiere wirken lässt.

Dass das Hermann'sche Wirkungsstadium, wie ich der Kürze wegen diejenige Wirkung des Stroms bezeichnen möchte, bei der eine Erregung in homodromer und keine Erregung oder

eine Lähmung in antidromer Lage des Thieres erfolgt, nicht in derselben Weise für alle Stromstärken gilt, hat Hermann selbst zuerst constatirt. Er fand, dass bei sehr starken Strömen die Froschlarven zuweilen in homodromer Lage steif still lagen, wie er es sonst bei antidromer Lage beobachtet hatte. Ob Hermann auch das Umgekehrte gesehen hat, nämlich Erregung in antidromer Lage, kann man nicht mit Sicherheit seinen Angaben entnehmen. Er schreibt[1]): „Bemerkenswerth ist, dass bei sehr starken Strömen zuweilen auch die Cathode, am Kopfe angebracht, steifes Stillliegen der Larve bewirkt.

Ebenso sieht man, wenn man beide Electroden vor oder nach der Schliessung punctförmig so eintaucht, dass eine Larve, oder ihr Rumpf allein, in der graden Verbindungslinie liegt, bei homodromer Lage, also absteigendem Strom, lebhafte Unruhe, bei antidromer Lage, also aufsteigendem Strom, steifes Stillliegen.“

Hier liegt ein Schreib- oder Druckfehler vor. Homodrome Lage findet statt bei aufsteigendem, nicht bei absteigendem Strome und antidrome Lage bei absteigendem, nicht bei aufsteigendem Lässt man nun die Ausdrücke absteigend und aufsteigend zu Recht bestehen, so muss man das „ebenso“ auf die vorher erwähnten sehr starken Ströme beziehen und dann hätte Hermann also auch die erregende Wirkung derselben bei antidromer Lage (wie es nun heissen müsste) gesehen. Man kann aber auch annehmen, dass die beiden Worte homodrom und antidrom gelten sollen, dann bezieht sich das „ebenso“ auf die gleiche, von der gewöhnlichen nicht abweichenden Wirkung der beiden punctförmigen Electroden, und dann hat Hermann die Erregung starker Ströme in antidromer Lage nicht beobachtet. Sicher bleibt aber immer, dass Hermann selbst Ausnahmen von der Regel bei sehr starken Strömen fand.

Blasius und Schweizer[2]) haben zweifellos die Erregung sehr starker Ströme bei antidromer Lage beobachtet. Sie schreiben bei der Aufzählung ihrer wichtigsten Resultate: „Dagegen zeigt sich bei vielen Thieren als höchster Ausdruck der Erregung durch den absteigenden[3]) Strom Krampf bis Tetanus. Ausnahms-

1) Dies. Archiv Bd. 39. p. 416.

2) Dies. Archiv Bd. 53. p. 535.

3) Dass hier in Folge eines Schreib- oder Druckfehlers fälschlicher Weise absteigend statt aufsteigend gesagt wird, geht aus dem Inhalt in unzweifelhafter Weise hervor.

weise kommt aber auch durch den absteigenden Strom ein ähnlicher Zustand zur Beobachtung."

Allerdings wird von Hermann sowohl wie auch von Blasius und Schweizer übereinstimmend angegeben, dass diese Abweichungen von der Regel des Hermann'schen Wirkungsstadiums nur ausnahmsweise stattfanden. Aber es sind doch immerhin Ausnahmen, und nach meinen Erfahrungen trifft das Hermann'sche Wirkungsstadium für mittelstarke Ströme bei nicht operirten Thieren ausnahmslos zu. Es scheint mir also daraus hervorzugehen, dass stärkste Ströme ein von dem Hermann'schen abweichendes Wirkungsstadium verursachen.

Bei der Anwendung schwächster Ströme zeigt das Erregungsgesetz wiederum ein anderes von dem Hermann'schen abweichendes Stadium. Meine vorige Mittheilung hatte den Zweck hierauf aufmerksam zu machen. Die Richtigkeit der Hermann'schen Angaben habe ich darin nicht angegriffen, denn ich sage ausdrücklich im Anfange der Arbeit, dass ich nur „zunächst" völlig abweichende Resultate erhielt, und sage später, dass sich stets in Folge einer ganzen Anzahl von Eingriffen die Stromrichtung für alle erwähnten Erscheinungen umkehrt und dass dann die Hermann'schen Angaben zu Recht bestehen. Zu diesen Eingriffen gehört auch die Anwendung stärkerer galvanischer Ströme: „Endlich zeigte sich, dass wenn man relativ sehr starke Ströme anwendet, man auch bei den ganz normalen Thieren von vornherein die Richtung des ausschliesslich erregenden Stromes mit Hermann's Angabe übereinstimmend findet." Ich nannte diese Ströme „relativ sehr stark", weil ihre Intensität ein Vielfaches von derjenigen betrug, welche zur Hervorbringung des von mir angegebenen Wirkungsstadiums bereits genügte. Ein Vergleich der von Hermann und mir angewandten Stromdichten war damals noch nicht möglich, da Hermann erst in seiner letzten Mittheilung Angaben über jene gemacht hat. Dass seine Stromdichten in den Versuchen der früheren Mittheilungen nicht der Grössenordnung angehörten, welche die ersten Wirkungen erkennen lassen, geht aus seiner letzten Mittheilung hervor. Jetzt findet Hermann[1]) bei der Nachprüfung meiner Angaben „ein früher unbeachtet gebliebenes

1) L. Hermann und Fr. Matthias, Der Galvanotropismus der Larven von Rana temporaria und der Fische. Dies Archiv Bd. 57. p. 395.

Wirkungsstadium", welches sich freilich gar nicht mit meinen Angaben deckt, aber ebenfalls zeigt, dass das Hermann'sche Wirkungsstadium nicht für die schwächsten Ströme gilt.

Man kann wohl am einfachsten das bisher über das Erregungsgesetz Bekannte in folgender Weise zusammenfassen. Es giebt 3 verschiedene Wirkungsstadien, welche durch schwächste, mittelstarke und stärkste Ströme hervorgerufen werden[1]). Die Breite der mittelstarken Ströme, denen das Hermann'sche Wirkungsstadium entspricht, ist eine sehr grosse. Hermann sowohl wie auch Blasius und Schweizer beobachteten Fälle von dem Wirkungsstadium stärkster Ströme. Hermann bestätigt meine Angabe, dass es auch ein besonderes Wirkungsstadium schwächster Ströme giebt, stellt aber für dieses Stadium einen wesentlich anderen Ausdruck auf. Wenn nun bei dieser Sachlage Hermann in seiner letzten Mittheilung, noch bevor er von dem Wirkungsstadium bei schwächsten Strömen spricht, meine Befunde als „fast diametral entgegengesetzt" den seinigen bezeichnet, so scheint mir dies über das Zutreffende hinauszugehen.

Nothwendigkeit punctförmiger Electroden für die Erforschung des Wirkungsstadiums bei schwächsten Strömen.

Wenn man die erste Wirkung des galvanischen Stroms beobachten will, so darf man nicht gleichzeitig viele Thiere untersuchen. Denn erstens kann man überhaupt nicht zu gleicher Zeit viele Thiere für den vorliegenden Zweck genügend genau beobachten, und dann befinden sich die Thiere in einem Trog durchaus nicht alle

---

1) Dazwischen giebt es offenbar auch noch Uebergangsstadien, die uns aber vorläufig nicht interessiren. Da nach meinen Beobachtungen die Thiere bei anwachsendem Strome ausschliesslich erst in antidromer dann in homodromer Lage erregt werden, so ist es verständlich, dass eine Stromstärke existirt, welche in beiden Lagen erregend wirkt. Hermann (dies Archiv Bd. 57. p. 395) beschreibt vielleicht dieses Uebergangstadium indem er sagt: Die allerschwächsten Ströme, welche noch keinerlei galvanotropische Wirkung haben, d. h. solche bis zu etwa 0,3 δ bewirken, unabhängig von ihrer Richtung, nur beim Schliessen, und noch stärker beim Umlegen, Zuckung oder sonst vorübergehende leichte Unruhe." Auch mir sind solche Uebergangstadien oft zu Gesicht gekommen.

unter gleichen Bedingungen. Es kommt hinzu, dass die Thiere individuell verschieden erregbar sind, und dass man das eben beobachtete Thier leicht aus den Augen verliert oder mit anderen verwechselt. Nun könnte man füglich auch eine einzelne Larve in dem Troge mit den Plattenelectroden untersuchen. Da entsteht aber eine neue und unüberwindliche Schwierigkeit. Die Larve muss sich nämlich nicht nur lothrecht zu den Plattenelectroden sondern auch an einer mittleren Stelle des Troges befinden. Liegt sie nicht lothrecht — und dies wird fast immer der Fall sein — so wirkt der Strom gar nicht oder nur eine Componente desselben, versucht man dann die Larve ganz vorsichtig in die richtige Lage zu bringen, so ergreift sie zugleich bei der Berührung die Flucht. Ferner darf sie weder eine Electrode direct mit dem Kopf oder dem Schwanz berühren noch ganz dicht an einer derselben liegen. Die Wirkung des Stromes ist hier stärker als es der aus dem Wasserquerschnitt und der Stromstärke berechneten Dichte entspricht. Auch darf sie nicht direct einer der seitlichen Glaswände anliegen, da hier die Wirkung des Stromes zu schwach ausfällt. Bedenkt man noch ferner, mit welcher Vorliebe sich die Larven an den Wänden der Gefässe aufhalten, so erhellt deutlich, dass man gewissermaassen nur zufällig, wenn gerade einmal die Larve günstig liegt, die ersten Wirkungen des Stromes in einem Troge mit Plattenelectroden wird beobachten können, und dass man Stunden brauchen würde, um sich über die Wirkungsweise des Stromes zu unterrichten.

Die beweglichen punktförmigen Electroden können dagegen jederzeit im Wasser beliebig verschoben werden, und wenn die Larve nur nicht dicht am Rande des Tellers oder sonstigen Gefässes liegt, so gelingt es immer leicht, sie in der Längsrichtung zu durchströmen. Auf noch andere Vortheile der punctförmigen Electroden, die hier unerwähnt bleiben können, habe ich bereits in meiner vorigen Abhandlung hingewiesen.

Um die Wirkungsweise schwächster Ströme zu studiren, wird man also bewegliche punctförmige Electroden nicht entbehren können, und ich halte daher Hermann's Vorwurf, dass ich nicht die einfachen von ihm angegebenen Mittel angewandt hätte — nämlich den Trog mit Plattenelectroden — für nicht gerechtfertigt. Er wäre es nur dann, wenn ich das Hermann'sche Wirkungsstadium bei mittelstarken Strömen zu erhalten vergeblich mich be-

müht hätte. Dies Wirkungsstadium war aber für mich bei Abfassung meiner Mittheilung eine feststehende Thatsache. Ich hatte auch nie an der Richtigkeit der Hermann'schen Angaben gezweifelt, wie besonders aus folgendem Satze hervorgeht: „Doch war es mir von vornherein klar, dass hier ganz besondere Verhältnisse und nicht etwa ein Irrthum die Verschiedenheit der Beobachtungen erklären würde."

Soviel zur Klärung meines Standpunktes den älteren Angaben Hermann's gegenüber. In der letzten Mittheilung hat Hermann nun auch schwächste Ströme angewandt, das von mir angegebene Wirkungsstadium aber nicht bestätigen können. Als diese Arbeit in meine Hände gelangte (Ende Juli) fand ich im Freien keine Froschlarven mehr, erhielt aber solche aus dem hiesigen zoologischen Institute. Die Thiere schienen völlig munter und normal zu sein. Bei der electrischen Untersuchung fiel aber sofort die abnorm grosse Stromstärke auf, welche zur Erzeugung erster Wirkungen nöthig war. Es war mir möglich, da alle Bedingungen wieder so hergestellt werden konnten, wie sie im vorigen Jahre gewesen waren, vergleichende Messungen zu machen. Im vorigen Jahre war „der zwanzigste Theil eines Milliampères zwischen den punctförmigen Electroden" schon ausreichend gewesen. Die diesjährigen Larven zeigten erst bei etwa der dreifachen Stromstärke die ersten Reactionen. Trotzdem gelang es wenigstens bei einer Anzahl dieser Thiere die wichtigsten von meinen Angaben wiederholt zu prüfen. Wie auch bei den früheren Untersuchungen wurden die Thiere in den Strom durch Näherung der Electroden von der Seite her eingeschlichen. Die erste Erregung fand ausschliesslich bei antidromer Lage dieser Thiere statt. Dies Wirkungsstadium bleibt bestehen, wenn man den Schwanz halb oder beinahe ganz abschneidet, so dass nur ein kleiner Stumpf am Rumpf zurückbleibt. Die Stromstärke muss dann aber bedeutend erhöht werden, wenn sie auch noch innerhalb der Breite schwächster Ströme (nach unserer obigen Eintheilung) liegt. Ebenfalls wird die Erregbarkeit der Thiere herabgesetzt, wenn man die vorderste Kopfspitze abschneidet, oder die Thiere für einige Secunden einem mittelstarken electrischen Strom aussetzt. Nach beiden Eingriffen findet dann aber die erste ausschliessliche Erregung in homodromer Lage statt. In meiner früheren Arbeit habe ich auch die Reactionen des vorderen kopf- oder knopfförmigen Körperabschnittes mit

denen des hinteren schwanzförmigen verglichen und angegeben: „schneidet man eine Froschlarve dicht hinter dem Kopfe“ — es ist correcter Rumpf statt Kopf zu sagen — „durch, so reagirt der Kopftheil umgekehrt wie der Schwanztheil.“ Auch dieser Versuch wurde neuerdings wiederholt bestätigt. Die untenstehende Figur soll dies Wirkungsstadium der normalen und operirten Froschlarven bei schwächsten Strömen veranschaulichen. Die beiden beweglichen punctförmigen Electroden werden in der Richtung der punctirten Linie an der Larve vorbeigeführt. Natürlich wird jede Larve einzeln untersucht und es sind hier nur der Platzersparniss halber die Thiere zusammen dargestellt worden. Die Striche bezeichnen den Operationsschnitt. Bei der angegebenen Lage der Thiere findet die erste ausschliesslich erregende Wirkung des Stromes statt.

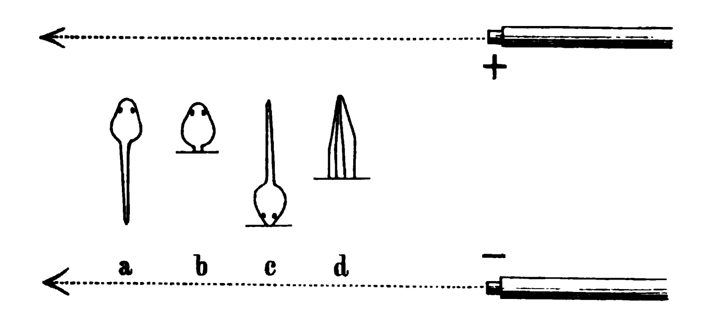


Fig. 1. Ausschliesslich erregende Wirkung schwächster galvanischer Ströme auf 9—20 mm lange Froschlarven. Die Electroden sind horizontal gezeichnet, werden aber in Wirklichkeit vertikal gehalten.

Hierzu sei noch bemerkt, dass diese Angaben, welche durch die Figur erläutert werden, dieselben sind, welche in meiner vorigen Mittheilung den Hauptinhalt bilden. Der Larventheil *b* vor dem Schnitt wird also in antidromer (absteigender Lage) zuerst erregt. Hermann hat mich missverstanden, wenn er sagt: „Das von Ewald angegebene Verhalten, dass der Larventheil vor dem Schnitt stets nur durch homodrome (aufsteigende) Ströme erregt werde“ [1]) u. s. w. Aus seiner früheren Mittheilung erwähnt Hermann: „Die homodrome Stromrichtung zeigte sich erregend . . .

1) Dies Archiv Bd. 57. p. 400.

und die antidrome beruhigend an Larven ... denen der Schwanz abgeschnitten war" [1]). Hier liegt bei derjenigen Lage der Larve, bei der die Erregung ausbleibt, die Kathode am künstlichen Querschnitt und das von Hermann herangezogene Biedermann'sche Gesetz passt daher auf meine Versuche mit den schwächsten Strömen nicht und könnte nur auf einen Theil der von Hermann selbst angegebenen Versuche bezogen werden.

Um die bei c abgebildete Larve herzurichten braucht man nur die äusserste Schnauzenspitze abzuschneiden. (Ebenso wirkt Brennen und Aetzen dieses Theils. Vergl. meine vorige Mittheilung.)

Hermann hat in seiner letzten Mittheilung die angewandten Stromdichten zahlenmässig angegeben und schlägt als Einheit der Dichte $^1/_{1000}$ Milliampère auf den □mm vor, welche er mit δ bezeichne. Es lag nun nahe, um einen Vergleich zu ermöglichen, die Dichten in meinen Versuchen zu messen, denn nichts hindert die mit den beweglichen punctförmigen Electroden gemachten Erfahrungen an einzelnen Thieren auch im Troge zwischen Plattenelectroden zu wiederholen. Mit Geduld kann man schon einige maassgebende Versuche machen und dann die Stromdichte bestimmen. Da die Thiere aber so wenig erregbar waren, so haben die bei ihnen erhaltenen Zahlen, welche sich zwischen 0,2 δ und 2 δ bewegten, keinen entscheidenden Werth, und da es mir in Folge der vorgeschrittenen Jahreszeit nicht mehr gelang frische Thiere zu erhalten, so müssen diese Bestimmungen bis zum nächsten Frühling aufgeschoben werden.

Es ist nun noch von Wichtigkeit hervorzuheben, dass die Mehrzahl der von mir neuerdings untersuchten Larven das von mir angegebene Wirkungsstadium nicht deutlich zeigten oder auch von vornherein im Sinne des Hermann'schen Wirkungsstadiums reagirten. Dieses Verhalten der Thiere spricht zu meinen Gunsten. Denn offenbar waren die Thiere, wie munter sie sich auch im Wasser tummelten, nicht im strengsten Sinne des Wortes normal. Alle zeigten eine zu geringe Erregbarkeit für den electrischen Strom, ganz besonders waren aber diejenigen unempfindlich, welche das von mir aufgestellte Wirkungsstadium nicht zeigten. Dann konnte bei keinem der Thiere eine Nahrungsaufnahme beobachtet

---

1) Dies Archiv Bd. 57. p. 399.

werden, und endlich waren nach 6 Tagen sämmtliche Larven todt, mit Ausnahme einer einzigen, welche in meinem Sinne reagirt hatte und der dann der halbe Schwanz abgeschnitten worden war. Diese allein ist heute, 6 Wochen etwa nach der Untersuchung, noch am Leben und der Schwanz ist wieder nachgewachsen.

Dies Verhalten der Thiere beweist ebenso wie meine Beobachtung der schädlichen Wirkung stärkerer Ströme, welch letztere das Wirkungsstadium bei schwächeren Strömen für längere Zeit zum Verschwinden bringen, wie fein man hier zwischen ganz normalen und nicht ganz normalen Thieren unterscheiden muss. Nach den Ergebnissen meiner vorigen Mittheilung wird man annehmen müssen, dass schon durch ganz geringfügige Einflüsse der vordere Abschnitt des Centralnervensystems d. h. derjenige Theil desselben, welcher vor dem von mir angenommenen „Höhepunkt" liegt und in antidromer Lage der ganzen Larve daher aufsteigend von dem galvanischen Strom durchflossen wird, geschädigt werden kann. Es ist übrigens bekannt, wie leicht Froschlarven in ihrem Wohlbefinden gestört werden und man wird gut thun, die Larven selbst aus dem Ei aufzuziehen, damit man sie vor der Untersuchung weder weit zu transportiren noch in anderes Wasser zu bringen nöthig hat. Am besten gelingen die Versuche über die Wirkung der schwächsten Ströme an Thieren, deren Länge noch nicht 20 mm erreicht hat.

(Aus dem physiologischen Institut zu Königsberg i. Pr.)

Zur Bestimmung der Residualluft.

Von

L. Hermann.

Auf meine Vertheidigung der Berenstein'schen Arbeit gegen Schenck's Angriffe hat letzterer mit Erörterungen geantwortet (dies Archiv Bd. 58, S. 233), auf welche ich Folgendes bemerken muss.

1. Mit Unrecht behauptet Schenck, meine Kritik sei überflüssig gewesen, weil er „Alles, was ich gegen das von ihm benutzte Verfahren vorbringe, im Wesentlichen auch schon gesagt habe", und mit mir „in Betreff der Beurtheilung des Werthes dieser Methode ganz übereinstimme", ferner, dass er hinsichtlich der Controlversuche nur gesagt habe, „dass die Mittelwerthe zufriedenstellend waren." Statt der letzteren Worte lese ich vielmehr: „Die Resultate der Methode sind zufriedenstellend, wenn man das Mittel etc. nimmt"; Schenck citirt sich in einem wesentlichen Punkte ungenau. Das ist ja gerade einer unserer Streitpunkte, dass er wegen der geringen Fehler der Mittelwerthe (1—2 %) die Methode für brauchbar hielt, ich aber trotzdem für unbrauchbar, weil die Schwankungsbreite der Einzelwerthe bis über 23 % geht.

2. Wenn wirklich Schenck — was, wie mir jeder zugeben wird, aus seiner ersten Darstellung nicht hervorging — über die Unzuverlässigkeit des Verfahrens so urtheilt wie ich, so kann ich nicht verstehen, warum er den Grund der Differenz zwischen seinen und Berenstein's Resultaten in Fehlern des letzteren sucht. Er sagt freilich, wenn man die Differenz auf Fehler des Gad'schen Verfahrens beziehen wolle, müsse man 5 Liter Darmgase annehmen, übersieht aber, wie willkürlich es ist, die ganze Differenz auf eine einzelne Fehlerquelle zu beziehen, während die Methode so viele hat.

In meiner ganz beiläufigen Erwähnung, dass schon Berenstein den durch die Darmgase bedingten Fehler erkannt hat, einen „Vorwurf" zu erblicken, der „entschieden zurückgewiesen" werden muss, scheint mir ein starkes Stück. Will etwa Schenck hier eine Priorität reclamiren, weil Berenstein den Darmgas-

fehler nicht bei Kritik der Gad'schen, sondern bei der einer anderen, sehr verwandten Methode erwähnt hat? Als ich aber dieses Passus in Berenstein's Arbeit gedachte, lag mir nichts ferner, als Schenck einen literarischen Vorwurf zu machen.

3. Die von mir vermissten Controlversuche über den ungefähren Betrag des Darmgasfehlers hat Schenck, wie er jetzt mittheilt, in der That, „freilich nicht in besonderer Absicht", angestellt, hält sie aber für werthlos. Ich bin nicht dieser Meinung; zum Mindesten ist der Einwand, dass die Temperaturabnahme der in den Kasten ausgeathmeten Luft eine zu grosse Fehlerquelle bildet, irrthümlich. Die Volumabnahme der exspirirten Luft durch ihre Abkühlung wird genau compensirt durch die Volumzunahme erwärmter Theile der Kastenluft; eine einfache Rechnung ergiebt dies, und hierauf beruht z. B. ein bekannter Vortheil der Luft- oder Flüssigkeits-Calorimeter mit Expansionsmessung. Die Verschiedenheit der Versuchsbedingungen im Haupt- und im Controlversuche ist ebenfalls kein Grund, eine ungefähre Feststellung des Darmgasfehlers nicht zu versuchen. Wenn die von mir gewünschten Controlversuche kein brauchbares Resultat gaben, so liegt dies eben vermuthlich an der Ungenauigkeit des ganzen Verfahrens, deren Gründe ich erörtert habe, vor allem darin, dass die anderen Fehlerquellen noch viel mächtiger sind als die durch die Darmgase bedingte.

4. Meine Bemerkung, dass die Fehler des Verfahrens im Endresultat mit 12—24 multiplicirt figuriren, sucht Schenck durch eine längere Auseinandersetzung zu entkräften, welche zutreffend wäre, wenn ich die thörichte Behauptung aufgestellt hätte, dass der relative Fehlerbetrag sich durch Multiplication ändern könne. Schenck scheint mich missverstanden zu haben. Ich habe darauf hingewiesen, dass in seinen Versuchen der absolute Hauptwerth durch Multiplication mit einer sehr hohen Zahl gewonnen wird, während z. B. in Berenstein's Versuchen dieser Factor äusserst klein ist (in dem mitgetheilten Beispiel 0,179). Allgemein vermeidet man, wenn irgend möglich, zur Bestimmung von Naturconstanten Methoden, bei denen die Fehler sich mit multipliciren. Wenn Schenck's absoluter Hauptwerth mit dem kleineren Berenstein's verglichen werden soll, so habe ich gewiss das vollste Recht darauf hinzuweisen, dass in dem ersteren ein vergrössernder Fehler steckt, dessen Betrag nicht etwa einfach, sondern mit dem hohen Factor 12—24 multiplicirt, in Abzug zu bringen ist.

5. Seinen Einwand gegen Berenstein's Versuche, dass die gleichmässige Mischung des Wasserstoffs mit der Luft trotz der grossen Diffusionsgeschwindigkeit jenes Gases und trotz 6—7maligem tiefstem Hin- und Herathmen nicht gesichert gewesen sei, hat Schenck diesmal ebenso wenig begründet wie das vorige Mal. Jetzt soll die Vollständigkeit der Mischung „von der Gelehrigkeit und Geschicklichkeit der Versuchspersonen" abhängen. Die Ansprüche an die Person sind bei unserm Verfahren sicherlich nicht grösser als beim Gad-Schenck'schen. Ferner befanden sich unter Berenstein's 16 männlichen Versuchspersonen 1 Professor der Physiologie (L.), 1 Assistent der Physiologie (F. M.), der Untersucher selbst (M. B.) und 10 Studirende und Candidaten der Medicin. Mehr Garantie für Gelehrigkeit kann Schenck nicht verlangen. Ausserdem würde bei einem ungeschickten Athmer der Versuch überhaupt misslingen und sinnlose Werthe ergeben. Da also der Versuch stets richtig angestellt wurde, kam alles auf die unveränderlichen mechanischen Eigenschaften des Wasserstoffs an, und ich werde Schenck dankbar sein, wenn er experimentell nachweist, dass wir mit unseren Voraussetzungen in dieser Richtung im Irrthum waren.

6. Als einen Fehler der Berenstein'schen Angaben, den ich jetzt „eingestehe" und der Schenck „noch misstrauischer" macht als früher, stellt letzterer es hin, dass Berenstein, ebenso wie Humphry Davy, die Temperaturdifferenz zwischen Spirometer und Lunge nicht mit in Rechnung gezogen hat; in der ersten Arbeit schätzt er diesen Fehler zu mindestens 10 %. Dies ist eine beträchtliche Ueberschätzung desselben; wir haben den Fehler unberücksichtigt gelassen, weil er so klein ist, dass er innerhalb der Fehlergrenzen fällt, und weil eine exacte Ermittelung auf Schwierigkeiten stösst.

Versuchen wir diesen Fehler einigermassen zu übersehen. Das Quantum x der wasserstoffhaltigen Residualluft beim Uebergang vom ersten Acte des Versuchs zum zweiten habe die Temperatur T; es wird gemischt mit dem Luftvolum v im Spirometer, dessen Temperatur t sei; der Procentgehalt der Mischung an Wasserstoff sei b, derjenige der Residualluft a. Soll die Temperatur berücksichtigt werden, so sind beide Gasvolumina auf gleiche Temperatur zu reduciren. Bei 0^{0} sind diese Volumina:

$$\frac{x}{1+\alpha T}, \text{ resp. } \frac{v}{1+\alpha t},$$

worin $\alpha = 0{,}003665$; es ist also vermöge des angegebenen Wasserstoffgehaltes:

$$\frac{x}{1+\alpha T} a = \left(\frac{x}{1+\alpha T} + \frac{v}{1+\alpha t}\right) b,$$

woraus sich ergiebt:

$$x = \frac{b}{a-b} \cdot v \cdot \frac{1+\alpha T}{1+\alpha t}.$$

Es gilt also den Bruch $(1+\alpha T)/(1+\alpha t)$, mit welchem Berenstein's Werthe noch zu multipliciren wären, zu ermitteln. Die Temperatur t ist zu etwa 20° C. zu veranschlagen, da die Versuche im Winter im warmen Zimmer angestellt sind. Würden wir die Temperatur der Residualluft der Körpertemperatur (37°) gleichsetzen, was aber, wie sich sogleich zeigen wird, zu hoch ist, so würde der genannte Bruch den Werth 1,058 annehmen, d. h. Berenstein's Werthe wären um 5,8 %, d. h. um 46,4 ccm zu erhöhen. Die Residualluft ist aber der Rest des Gemisches, welches durch rasche Vermengung von etwa 2500 ccm körperwarmer Lungenluft mit etwa 4000 ccm zimmerwarmem Wasserstoff unmittelbar vorher gebildet ist; ihre Temperatur ist also jedenfalls niedriger als 37°; thäte der Körper gar nichts von seiner Eigenwärme hinzu, so würde sie etwa 26° sein[1]), und der Bruch reducirt sich auf 1,020, d. h. der Fehler auf 2 %, oder 16 ccm. Man kann also sagen, dass wegen Nichtberücksichtigung der Temperatur Berenstein's Werthe um 2 bis allerhöchstens 5,8 % zu vergrössern sind. Dieser Fehler kann die Kluft zwischen Berenstein's und Schenck's Resultaten nicht überbrücken. Dagegen frage ich von Neuem, ob in Schenck's Werthen ein Abzug für Röhrenvolum etc. gemacht ist; hier handelt es sich um unvergleichlich beträchtlichere Grössen.

7. Ich hatte mich über Schenck's Angabe beschwert, dass Berenstein „nach dem Princip der Davy-Gréhant'schen Me-

1) Die Mischung des Gasvolums V von der Temperatur T mit dem Gasvolum v von der Temperatur t hat die Temperatur

$$\frac{V(1+\alpha t)T + v(1+\alpha T)t}{V(1+\alpha t) + v(1+\alpha T)}.$$

Das Volum der Mischung bleibt $V+v$ (s. oben). Die Formel gilt auch für Mischung verschiedener Gase (Luft und Wasserstoff), sobald die specifischen Wärmen den Dichten umgekehrt proportional sind.

thode" gearbeitet hat, weil er nicht hinzugesetzt hat, dass es sich um eine Modification des Davy'schen Verfahrens handelte, worin gerade das Wesentliche und Neue in Berenstein's Versuchen lag. Bei einer Kritik der Arbeit war es nicht gleichgültig, ob der Leser glaubt, dass Berenstein nur das alte Verfahren nachgeahmt hat. In dieser Bemerkung sieht Schenck eine fast komische Desavouirung meiner selbst, weil Berenstein in seiner Dissertation, ohne bei mir Widerspruch zu finden, bei der genauen Beschreibung seines Verfahrens angeführt hat, dass das „Princip" bei seinem und Davy's Verfahren das gleiche ist [1]). Wir streiten doch im Archiv hoffentlich nicht um Worte. Schenck wird zugeben, dass an der herbeigezogenen Stelle der Leser vollständig, bei ihm aber unvollständig informirt wird, und dass auch in meiner ganz beiläufigen Bemerkung, Gréhant könne hier kaum genannt werden, keine Selbstdesavouirung liegt, da schon Berenstein, obwohl er vom „Davy-Gréhant'schen Verfahren" spricht, dieselbe Bemerkung mit meiner Zustimmung gemacht hat.

8. Ich resumire, dass meiner Ueberzeugung nach Berenstein's Methodik und Resultate durch Schenck's Arbeit keine Einbusse erleiden und für die viel discutirte Frage der Residualluft den bisher zuverlässigsten Werth geliefert haben. Schenck hat sich durch seine eigenen Correcturen diesem Werth mehr und mehr genähert; ich kann aber bei der grossen Ungenauigkeit des Gad'schen Verfahrens hierin nicht einmal eine Art Bestätigung der Berenstein'schen Angaben erblicken, selbst wenn der nunmehrige Abstand noch kleiner wäre. Dagegen erkenne ich gern an, dass Schenck aus diesem Verfahren gemacht hat, was sich machen liess. Hätte er nicht Anlass genommen, eine unter meiner Leitung ausgeführte äusserst sorgfältige Arbeit anzugreifen (deren Verfasser ohne bekannte Adresse abwesend ist und für den ich daher vertheidigend eintreten musste), so würde ich bei meiner Achtung vor jeder ernsten Arbeit, und Abneigung gegen vermeidbare Controversen, mich sicher enthalten haben, an Schenck's Untersuchung Kritik zu üben.

1) In der Mittheilung in diesem Archiv heisst es sogar nur, dass die Voraussetzung, nämlich der Diffusion des Wasserstoffgases, bei beiden Verfahren die gleiche ist, woraus man klar sehen kann, was gemeint ist.

(Aus dem physiologischen Institut zu Breslau.)

Einige Versuche über die Resorption in der Bauchhöhle.

Von

Dr. med. **W. N. Orlow,**
aus St. Petersburg.

Die Frage über die Resorption in der Bauchhöhle hat ein grosses pathologisches Interesse, da in derselben sehr oft verschiedene Flüssigkeiten sich anhäufen. Herzfehler mit Compensationsstörungen, Leber- und Nierenkrankheiten, Krankheiten der weiblichen Geschlechtsorgane: Perimetritiden, Rupturen der schwangern Tuben und Cysten sind die Hauptursachen der Anhäufung solcher Exsudate in der Bauchhöhle.

In der ärztlichen Praxis kann man sehen, dass solche Exsudate, welche zuweilen eine bedeutende Grösse erreichen, mitunter sogar sehr schnell resorbirt werden. Sehr oft gehen Rupturen einzelner Cystenhöhlen unbemerkt vorüber, da sie keine Nebenerscheinungen hervorrufen, zuweilen werden auch bedeutende Blutungen bei Rupturen schwangerer Tuben ohne operativen Eingriff resorbirt.

Künstliche Eingiessungen von Blut in die Bauchhöhle, welche Ponfick[1]) bei bedeutenden Blutungen vorgeschlagen hatte, gaben in Bezug der Schnelligkeit der Resorption, sowie auch in Bezug der guten Wirkung auf den Organismus, gute Resultate.

Experimentelle Untersuchungen an Thieren (Hunden und Kaninchen), welche von v. Recklinghausen[2]), Wegner[3]),

---

1) Deutsch. Arch. f. klin. Med. 22. Aug. 1879.

2) v. Recklinghausen, „Zur Fettresorption" Virch. Archiv Bd. XXVI.

3) G. Wenger, Chirurgische Bemerkungen über die Peritonealhöhle mit besonderer Berücksichtigung der Ovariotomie (Archiv für klinische Chirurgie Bd. XX).

Nikolsky[1]) u. A. ausgeführt wurden, zeigten, dass die Resorption aus der Bauchhöhle sehr schnell vorgeht und dass nicht nur Flüssigkeiten, sondern auch körperliche Elemente, wie rothe Blutkörperchen, Milchkörperchen, Zinnoberstückchen und Tusche resorbirt werden.

S. Wegner vergleicht die Resorption aus dem Unterhautzellgewebe und dem Magen mit der Resorption aus der Bauchhöhle und kommt zu dem Schlusse, dass bei der letzten die Resorption viel schneller vorgeht und dass die eingeführten Stoffe (Chloral-Hydrat, Jodkali, Alcohol u. A.) viel schneller wirken, als bei der Einführung durch die ersteren. Auf welchen Wegen und durch welche Kräfte kommt diese Resorption zu Stande? Ist es eine einfache osmotische Erscheinung oder wird auch in diesem Falle, wie im Dünndarme, die physikalische Osmose durch eine physiologische Triebkraft unterstützt?

In seiner Arbeit: „Neue Versuche über die Aufsaugung im Dünndarm" (Archiv f. die ges. Physiologie, Bd. 56) hat R. Heidenhain durch eine Reihe von Versuchen an Hunden gezeigt, dass die Resorptionserscheinungen im Dünndarm durch die Gesetze der Osmose allein nicht erklärt werden können.

Ohne auf den Inhalt dieser erst vor Kurzem veröffentlichten Untersuchung ausführlich einzugehen, will ich nur einige Erscheinungen der Darmresorption anführen, welche sich durch einfache osmotische Processe nicht erklären lassen:

1. Im Dünndarm von Hunden wird Serum von Hundeblut resorbirt, selbst dann, wenn dasselbe durch Wasserverdampfung erheblich concentrirt ist, also eine erheblich höhere endosmotische Spannung erreicht hat, als die Flüssigkeit des in den Darmwandungen strömenden Blutes.

2. Aus Kochsalzlösungen von 1—1,5 % wird sowohl Salz (zum Theil durch Diffusion) als Wasser resorbirt, letzteres schon zu einer Zeit, um welche die endosmotische Spannung der Darmflüssigkeit beträchtlich höher ist, als die des Blutes.

3. Aus Kochsalzlösungen von 0,3—0,5 % verschwindet nicht bloss Wasser (zum Theil durch Diffusion), sondern auch Kochsalz, obschon der Chlornatriumgehalt des Blutes höher ist, als der Gehalt der Darmflüssigkeit.

1) Nikolsky, Zur Frage über Bluteingiessungen in die Bauchhöhle (Inaug.-Diss. Pertersburg; 1880 russisch).

Schon während seiner Versuche über Darmresorption hat Heidenhain auch einige Versuche über Resorption in der Bauchhöhle angestellt, deren Fortsetzung er mir anempfahl, unter Innehaltung eines Versuchsplanes, wie er den Darmversuchen zu Grunde gelegen hatte.

Hier muss bemerkt werden, dass die Bauchhöhle zur Ausführung solcher Versuche viel ungünstigere Bedingungen bietet, als der Dünndarm, da im ersten Falle ein Versuchsthier nur zu einem einzigen Versuch gebraucht werden kann, während man im zweiten Falle an ein und demselben Thiere eine Reihe vergleichender Versuche hinter einander anstellen kann.

Letzter Umstand giebt die Möglichkeit, viel mehr gesicherte Schlüsse zu ziehen, als im ersten Falle, in welchem Vergleichsversuche an demselben Individuo nicht möglich sind.

Was die Arbeiten über Resorption aus der Bauchhöhle betrifft, so sind hier besonders diese von v. Recklinghausen[1]) und von Georg Wegner hervorzuheben.

v. Recklinghausen hat seine Experimente an Kaninchen ausgeführt, indem er ihnen in die Bauchhöhle Milch, Emulsionen, Blut, Zuckerlösungen mit Cobalt und Tusche injicirt hatte, beobachtete er immer eine Resorption dieser Flüssigkeiten, wobei die Lymphgefässe des Zwerchfells, besonders die des centr. tendineum, immer mit den in der Flüssigkeit eingeführten körperlichen Elementen gefüllt waren.

Auf Grund dieser Beobachtungen meint er, dass die Hauptstelle der Resorption das Zwerchfell und der Hauptweg das Lymphgefässsystem sei. Mikroskopisch konnte er wirklich in demselben Erscheinungen beobachten, welche mit Bestimmtheit für die Anwesenheit solcher Lücken (Stomata) sprechen, durch welche die lymphatischen Gefässe mit der Bauchhöhle communiciren; diese Lücken selbst aber konnte er genau nie sehen: „Bisweilen, glaubt man wenigstens, sagt er, einen Theil des Randes zu erkennen, jedoch mit Sicherheit sah ich ihn nie“[3]).

---

1) v. Recklinghausen, „Zur Fettresorption“ Virch. Archiv Bd. XXVI.

2) G. Wegner, Chirurgische Bemerkungen über die Peritonealhöhle mit besonderer Berücksichtigung der Ovariotomie (Archiv f. klin. Chirurgie. Bd. XX).

3) v. Recklinghausen, ibid. pag. 185.

Der Durchmesser dieser Lücken soll zwei mal so gross sein, wie der eines rothen Blutkörperchens und sie sollen zwischen den Epithelzellen, wo sie am nächsten nebeneinander sitzen, liegen.

Georg Wegner[1]) beobachtete immer in seinen Versuchen an Kaninchen eine Resorption von Serum und Kochsalzlösungen, wobei die Menge der resorbirten Flüssigkeit (Blutserum) schwankte zwischen 3,3 % bis 8 % des ganzen Körpergewichts.

Die Intensität der Resorption hängt, seiner Meinung nach, ab von dem Drucke in der Bauchhöhle. Wenn man eine grössere Menge Flüssigkeit injicirt, so wird der Druck in derselben höher und es wird relativ viel mehr resorbirt, als wenn man eine geringere Menge Flüssigkeit injicirt. So z. B. wurden bei Injection von 200 ccm in einer Stunde resorbirt 134 ccm, bei Injection von nur 100 ccm dagegen wurden nur 50—60 ccm resorbirt.

Was die Wege des Eintrittes der Flüssigkeiten in dem Organismus betrifft, so existiren nach G. Wegner vier Möglichkeiten:

1. Resorption durch Diffusion oder Osmose.

2. Durch Filtration. Durch den positiven Druck in der Bauchhöhle kann eine gewisse Menge der Flüssigkeit in die Blutgefässe hineingetrieben werden.

3. In den Resorptionsprocessen haben auch wahrscheinlich die Zellen eine Bedeutung: — wandständige Endothelzellen oder Wanderzellen.

4. Durch die Wege, welche Recklinghausen gezeigt hat — durch das Zwerchfell. Auch Wegner hat bei seinen Versuchen eine Füllung der Lymphgefässe des Zwerchfells, auf welche Erscheinung v. Recklinghausen aufmerksam macht, beobachtet.

W. Nikolsky[2]) hat auch bei Injectionen von defibrinirtem Blut in die Bauchhöhle eine Resorption beobachtet, obschon nicht eine so bedeutende, wie es S. Wegner in Bezug auf das Blutserum festgestellt hatte, so wurde im Laufe von 5 Stunden kein einziger Tropfen Blut resorbirt, nach 24 Stunden aber fand er statt 300 ccm nur 140 ccm. Bei der mikroskopischen Untersuchung

---

1) Wegner, Archiv für klin. Chirurgie Bd. XX.

2) W. Nikolsky, „Zur Frage über Bluteingiessungen in die Bauchhöhle.“ Inaug.-Diss. Petersburg 1880.

des Zwerchfells und des Bauchfells fand immer er eine Füllung der Lymphgefässe mit Blutkörperchen.

G. Cordua, ein Schüler von Prof. Ponfick, hat bei seinen Versuchen mit defibrinirtem Blute eine Resorption desselben beobachtet: nach 3 Tagen fand er nur die Hälfte des injicirten Blutes, nach 5 Tagen war die Bauchhöhle vollständig leer.

Während die Untersuchungen über Peritonealresorption im hiesigen Institut bereits im Gange waren, erschien eine Arbeit von E. Starling [1]) „On absorption from and secretion into the serous cavities", hauptsächlich sich beziehend auf die Resorption in der Pleuralhöhle, deren die Aufsaugung betreffende Resultate manche Uebereinstimmung mit den unsrigen zeigt, obschon die Anstellung der Versuche wesentlich verschieden war.

Dies Alles berechtigt uns zum Schlusse, dass die Resorption aus der Bauchhöhle unzweifelhaft ziemlich lebhaft ist; die Frage aber, wie und nach welchen Gesetzen die Resorption zu Stande kommt, bleibt noch offen.

Untersuchungsmethode.

Der Plan der folgenden Untersuchungen schloss sich enge an die oben erwähnten Versuche Heidenhains über Darmresorption an (s. dessen Abhandlung).

Für unsere Experimente benutzten wir ausschliesslich Hunde, falls Lymphe gesammelt werden sollte, 48 Stunden nach der letzten Mahlzeit. Vor dem Experimente wurde der Hund abgewogen, es wurde ihm stets Morphium unter die Haut (2:100) gespritzt (ein Kubikcentimeter auf jedes Kilo Körpergewicht). Nach 15—20 Minuten wurde der Hund auf den Operationstisch gebunden, narcotisirt mit einem Gemisch von Chloroform und Aether. In den entblössten Ductus thoracicus wurde eine Canüle eingeführt und Lymphe gesammelt, sowohl vor, wie nach der Einspritzung. In die Bauchhöhle wurde stets die Flüssigkeit auf 39—40 ° C. erwärmt eingespritzt. Nach 3—4—5 Stunden wurde der Hund getödtet und es wurde sorgfältig die ganze Flüssigkeit, die in der Bauchhöhle geblieben, herausgeholt. In dieser Flüssigkeit wurde der Procentgehalt des Chlornatriums bestimmt, ebenso im Blutserum des Versuchsthieres.

1) E. Starling, The Journal of Physiology Vol. XVI 1894.

Die Bestimmung des Kochsalzes wurde gemacht nach der Methode von Volhard-Salkowski durch Titrirung mit Rhodan-Ammonium.

Bei der Verkohlung des Blutserums ist der Zusatz von etwas Soda erforderlich; ohne dasselbe geht, wie Controlversuche lehrten, ein wenig ClN verloren. Alle chemischen Analysen sind in dem unter Leitung des Herrn Prof. Röhmann stehenden chemischen Laboratorium des Instituts ausgeführt.

Die Concentration der eingespritzten Salzlösungen wurde stets bestimmt mit einer titrirten Lösung von salpetersaurem Silber.

Die Resorption von Serum.

Zur Einspritzung wurde ausschliesslich Serum von Hundeblut genommen, als gleichartig und gleiche endosmotische Spannung mit dem Blutplasma besitzend. Das Serum, von einigen Hunden gesammelt, wurde auf Eis aufbewahrt und vor der Einspritzung auf 39—40° C. erwärmt.

I. Versuch.

Einem morphisirten Hunde von 10000 gr wurden um 9 Uhr 30 Min. in die Bauchhöhle 246 ccm Hundeserum, auf 40° C. erwärmt, eingeführt, darauf das Thier frei gelassen.

Um 5 Uhr 30 Min. wurde der Hund entblutet und durch Zerstörung der Medulla oblongata getödtet. In der Bauchhöhle wurden 110 ccm mit Blut gefärbter Flüssigkeit gefunden. Das Peritoneum glatt, glänzend, aber an einigen Stellen subseröse Extravasate sichtbar.

II. Versuch 2. Juni.

Eine alte Hündin, 17500 gr schwer, hungerte 48 Stunden. Um 10 Uhr Morgens wurden ihr in der Morphiumnarcose in die Bauchhöhle 175 ccm auf 40° C. erwärmtes Blutserum eingespritzt, das Thier frei gelassen. Um 5 Uhr Abends wurde die Hündin entblutet und durch Zerstörung der Medulla oblongata getödtet. In der Bauchhöhle wurde kein Tropfen Flüssigkeit gefunden. Auf dem Peritoneum hier und da Extravasate sichtbar.

III. Versuch 14 Juni.

Ein Hund, 10400 gr schwer, hungerte 48 Stunden. Um 10 Uhr Morgens wurden in die Bauchhöhle 200 ccm Hunde-Blutserum eingeführt. Nach 7 Stunden wurde der Hund entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurden 150 ccm trüber Flüssigkeit gefunden. Der Versuch geschah unter Chloroform und der Hund war die ganze Zeit an den Operationstisch gebunden.

IV. Versuch 19. Juni.

Einer morphisirten Hündin, 10000 gr schwer, die 48 Stunden gehungert, wurden 10 Uhr 50 Min. Morgens 205 ccm auf 40° C. erwärmtes Serum in die Bauchhöhle eingeführt. Um 5 Uhr 50 Min. wurde die Hündin entblutet und durch Zerstörung der Medulla oblongata getödtet. In der Bauchhöhle 130 ccm Flüssigkeit gefunden. Der Versuch geschah in dauernder Chloroform-Narcose. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe vor der Einspritzung 5—6 ccm in 10 Min., nach der Einspritzung 3,2 ccm in derselben Zeit.

V. Versuch 21. Juni.

Einer Hündin, von 5200 gr Gewicht wurden um 9 Uhr 30 Min. in die Bauchhöhle 175 ccm Blutserum eingeführt. Nach $6^1/_2$ Stunden wurde die Hündin entblutet und getödtet. Aus der Bauchhöhle wurden 108 ccm trübe Flüssigkeit erhalten.

VI. Versuch 12. Juli.

Einem Hunde, 11100 gr Gewicht, der 48 Stunden gehungert, wurden um 10 Uhr 30 Min. in die Bauchhöhle 321 ccm Hundeserum auf 40° C. erwärmt, eingeführt. Um $5^1/_2$ Uhr wurde der Hund entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurden 242 ccm trüber Flüssigkeit gefunden. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe vor der Einspritzung wurde bestimmt $5^1/_2$—6 ccm in 10 Min.; nach der Einspritzung $3^1/_4$—4 ccm in 10 Min.

Der Hund war die ganze Zeit unter Chloroform.

VI. Versuch 24. Juni.

Einer Hündin, 5660 gr schwer, wurden um 10 Uhr in die Bauchhöhle 112 ccm Blutserum, in vacuo über Schwefelsäure condensirt, auf 40° erwärmt, eingeführt. Um $5^1/_2$ Uhr wurde die Hündin entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurden 156 ccm trüber Flüssigkeit gefunden.

Aus den beschriebenen Fällen ist ersichtlich, dass in allen, den letzten ausgenommen, ein grösserer oder kleinerer Theil des Serums resorbirt wurde. Im letztern Fall dagegen, wo in vacuo über Schwefelsäure concentrirtes Serum eingeführt worden, trat nicht nur keine Resorption ein, sondern das Volumen der Flüssigkeit vergrösserte sich sogar auf Kosten eines Transsudates aus den Blutcapillaren. In den Fällen, wo Resorption stattfand, wie aus der letzten Col. der Tabelle zu ersehen, in den Fällen Nr. 1, 2, 5 ist das Prozentverhältniss der resorbirten Flüssigkeit zum gesammten Körpergewicht mehr als eins, in den anderen weniger. Solch ein Unterschied in der Quantität des resorbirten Serums steht nur zum Theil in Abhängigkeit vom Körpergewicht des Thieres und dem

Tabelle I.

Versuchsnummer	Körpergewicht	D. Quantität eingeführt. Blutserums	Versuchsdauer in Stunden	D. Quantität gefundener Flüssigkeit	Organ. Subst. in d. injicirt. Blutserum in %	Org. Substanz in d. gefund. Flüssigkeit in %	Org. Substanz in d. Blutserum d. Thieres in %	Anorg. Subst. i. d. eingef. Flüssigkeit in %	Anorg. Subst. in d. gefund. Flüssigkeit in %	Anorg. Subst. in d. Blutserum des Thieres in %	Wie viel Blutserum resorbirt?	Procent. Beziehung d. eingeführt. Blutserums auf gesammt. Körpergewicht	P. B. d. resorb. Flüssigkeit auf gesammtes Körpergewicht	Bemerkungen
No. I. 6. VI. 94	10000	246	8	110	—	—	—	—	—	—	136	2,46	1,36	Ohne die Chloroform-Narcose
No. II. 14. VI. 94	17500	175	7	N.	—	—	—	—	—	—	175	1	1	ibid.
No. III. 14. VI. 94	10400	200	7	150	7,270	7,138	7,230	0,972	0,920	0,910	50	1,82	0,48	Mit der Chloroform-Narcose
No. IV. 19. VI. 94	10000	205	7	130	—	—	—	—	—	—	75	2,05	0,75	ibid.
No. V. 21. VI. 94	5200	175	6½	108	6,194	6,546	6,602	0.884	0,842	0,866	67	3.36	1,3	Ohne die Chloroform-Narcose
No. VI. 12. VII. 94	11100	321	7	242	6,690	7,094	7,944	0,838	0,824	0,854	79	2,8	0,71	Mit der Chloroform-Narcose
No. VII. 29. VI.	5660	112	7½	150	8,676	6,930	6,648	1,154	0,932	0,934	—44	2	—	Dieses Blutserum wurde in vacuo concentrirt.

Volumen der eingeführten Flüssigkeit, wie aus den vorhergehenden Columnen sichtlich, sondern vielmehr hauptsächlich davon, ob der Hund im Laufe des ganzen Versuches unter steter Chloroformeinathmung aufgebunden war, oder ob er nur behufs der Einspritzung morphisirt, nach erfolgter Einspritzung freigelassen wurde. Auch im letzteren Falle lagen die stets stark morphisirten Thiere im Allgemeinen ruhig, aber sie waren nicht an jeder Bewegung gehindert.

Die Versuche 1, 2, 5 geschahen ohne Chloroformnarcose, 3, 4, 6 in Narcose und mit Aufhebung activer Bewegungen.

Um zu bestimmen, ob mit der Flüssigkeit organische und anorganische Stoffe und in welcher Quantität sie resorbirt werden, wurde von uns in 3 Fällen die Bestimmung der organischen und anorganischen Substanzen in dem eingeführten Serum und in der rückständigen Flüssigkeit gemacht.

Versuch III.

	Flüssigkeit	Organische Substanzen	Anorganische Substanzen
Eingeführt	200 ccm	14,54 gr	1,944 gr
Gefunden	150 ccm	10,707 gr	1,380 gr
	50 ccm	3,833 gr	0,564 gr

oder in Procenten bezüglich der eingeführten Quantitäten:

Wasser resorbirt	25 %
Org. Stoffe	26 „
Anorg. Stoffe	29 „

Versuch V.

	Flüssigkeit	Organische Substanzen	Anorganische Substanzen
Eingeführt	175 ccm	10,839 gr	1,547 gr
Gefunden	108 ccm	7,069 gr	0,909 gr
	67 ccm	3,770 gr	0,638 gr

oder in Procenten:

Wasser	38 %
Org. Stoffe	34 „
Anorg. Stoffe	41 „

Versuch VI.

	Flüssigkeit	Organische Substanzen	Anorganische Substanzen
Eingeführt	321 ccm	21,474 gr	2,689 gr
Gefunden	242 ccm	17,167 gr	1,994 gr
	79 ccm	4,307 gr	0,695 gr

oder in Procenten:

Wasser	25%
Org. Stoffe	20 „
Anorg. Stoffe	29 „

Die angeführten Versuche zeigen, dass nicht allein Wasser, sondern mit demselben zusammen organischen Verbindungen und Salze resorbirt werden, wobei die letzteren in ein wenig grösserer Quantität resorbirt werden, in fast demselben Verhältniss wie das Wasser.

Auf diese Weise ist ersichtlich, dass Wasser und Salze in fast gleichen prozentischen Quantitäten resorbirt werden, die organischen Substanzen aber an der Resorption etwas weniger Theil nehmen, jedoch ist der Unterschied hier nicht so erheblich, wie bei Serumresorption im Dünndarm (vgl. die Versuche von Heidenhain).

Das in die Bauchhöhle eingeführte Serum hat fast genau denselben Gehalt an organischen Salzen, wie das Serum des Versuchsthieres: in III und V ist derselbe ein wenig höher, in VI ein wenig geringer. Es ist also auch die endosmotische Spannung nahezu gleich gewesen. Wenn trotzdem lebhafte Flüssigkeitsresorption stattfindet, so kann dieselbe nicht auf Osmose beruhen.

Nach den durch Recklingshausen eingeführten Vorstellungen liegt der Gedanke nahe, dass die resorbirte Flüssigkeit durch die Stomata des Zwerchfelles in die Lymphwege abfliesse. Allein während der Resorptionszeit nimmt die Lymphmenge des Duct. thoracicus keineswegs zu (vgl. IV und VI, vgl. auch später bei der Resorption von Kochsalzlösungen). Mithin müssen es die Blutbahnen sein, welche die wesentliche Function bei der Resorption haben. Zu gleichem Schlusse ist schon Starling[1]) gelangt. (Bei der Resorption von indigschwefelsaurem Natrium aus der Pleural- oder Peritonealhöhle trat der Farbstoff viel früher im Harn, als in der Lymphe auf.)

Da osmotische Kräfte den Uebergang des Serums in die Blutcapillaren nicht verständlich machen können, müssen von der Wandung des Peritonealsackes Triebkräfte ausgehen, welche die beobachtete Flüssigkeitsbewegung veranlassen, sei es, dass ihr Sitz

---

1) Journal of Physiology XVI.

die Endothelzellen des Bauchfelles oder die Zellen der Blutcapillaren selbst seien.

Ganz das Gegentheil zeigt der letzte Fall mit Einführung von in vacuo über Schwefelsäure condensirten Serums. Hier reichen zur Erklärung vollständig die Gesetze der Osmose aus, da offenbar dies condensirte Serum eine höhere endosmotische Spannung als das Blutplasma des Thieres hat, weshalb Flüssigkeit aus den Blutcapillaren austreten muss.

Im gegebenen Falle transsudirte in die Bauchflüssigkeit 44 ccm, d. h. fast $^1/_3$ der eingeführten Flüssigkeit.

Die Analyse des Serums vor der Einführung zeigte, dass es 8,67 % organischer Stoffe und 1,154 % Salze, oder 9,83 % festen Rückstand hat. Die Vergrösserung der Quantität der Salze führt hauptsächlich zur Vermehrung der endosmotischen Spannung, da das Eiweiss bekanntlich wenig Einfluss darauf hat.

Vergleichen wir die Analysen der eingespritzten und in der Bauchhöhle gefundenen Flüssigkeit, so sehen wir:

	Fl.		Org. Stoffe		Anorg. Subst.
Eingeführt	112	—	9,717	—	1,292
Gefunden	156	—	10,810	—	1,453
Transsudirt	44	—	1,093	—	0,161

was uns zeigt, dass nicht allein Wasser aus den Blutcapillaren herausgetreten, sondern auch zu gleicher Zeit eine bestimmte Quantität organischer Stoffe (1,093) und zwar bis zu fast vollständigem Ausgleich ihres Gehaltes mit dem Blutserum des Thieres. So sind in

	Org. Stoffe	Anorg. Stoffe
der gefundenen Flüssigkeit	6,930	0,932
dem Serum des Thieres	6,698	0,934

Resumiren wir aber die Befunde, betreffend die Resorption des Serums, so können wir folgende Schlüsse machen:

1. Serum von der gleichen Thierart entnommen und eingeführt in die Bauchhöhle, wird resorbirt, bei steter Chloroforminhalation in geringerem Maasse als ohne dieselbe.

2. Concentrirtes Serum wird nicht resorbirt und es findet eine Transsudation aus den Capillargefässen statt.

Das erste ist nicht erklärlich vom Standpunkte der Diffusionstheorie, das andere unterliegt offenbar ihren Getetzen.

Die Resorption verdünnter Kochsalzlösungen von 1 % — 0,3 %.

Stellt man sich auf den Standpunkt der Diffusionslehre, so würde bei Einführung von Kochsalzlösungen, deren Prozentgehalt unter 1 % liegt, folgendes zu erwarten sein: Mit Rücksicht darauf, dass der ClN-Gehalt der Blutflüssigkeit ungefähr 0,7 — 0,75 beträgt, würde aus Lösungen von 0,8 % — 1 % Kochsalz noch dem Blute hin diffundiren müssen; bei Lösungen von 0,3 — 0,6 % dagegen würde das Kochsalz in der Peritonealhöhle sich vermehren müssen. Neben dieser Bewegung des Salzes ist aber eine Wasserbewegung aus der Bauchhöhle nach dem Blut hin zu erwarten, da die endosmotische Spannung von ClN-Lösungen, deren Gehalt unter 1 % liegt, geringer ist, als die der Blutflüssigkeit. Es wird also Flüssigkeitsverminderung und eine Annäherung des Kochsalzgehaltes in der Peritonealflüssigkeit an den des Blutplasma zu erwarten sein; bei Concentrationen unter 0,7 % aber eine Zunahme der absoluten ClN-Menge in der Peritonealflüssigkeit. (Dass nebenbei sonstige Bestandtheile, organische und anorganische, die in der reinen Cl.Natr.-Lösung fehlen, in diese übergehen müssen, braucht wohl kaum betont zu werden.)

Die Ergebnisse der Versuche stimmen in vielen Punkten mit den Voraussagungen der Diffusionslehre überein. In einem Punkte findet ausnahmslos ein Widerspruch statt: Aus Kochsalzlösungen von 0,6—0,4 % verschwindet regelmässig Kochsalz, während seine Menge doch nicht blos prozentisch, sondern absolut steigen müsste.

I. Versuch 2. Mai 1894.

Einem Hunde von 13000 gr Gewicht wurden um 10 Uhr Morgens in die Bauchhöhle 400 ccm 1 % auf 40° erwärmter Kochsalzlösung eingeführt. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe gleicht im Mittel 2 1/2 ccm alle 10 Min.; nach der Einspritzung hat die Geschwindigkeit nicht zugenommen. Eine Stunde nach der Einspritzung wurden aus der Bauchhöhle mittelst einer Pipette 10 ccm entnommen und wurden darin gefunden 0,83 % Kochsalz. Nach 3 Stunden wurde der Hund getödtet und in seiner Bauchhöhle wurden gefunden 200 ccm einer durchsichtigen Flüssigkeit mit 0,78 % Kochsalzgehalt.

II. Versuch 16. Mai 1894.

Einem Hunde von 7600 gr Gewicht wurden um 9 1/2 Uhr Morgens in die Bauchhöhle 400 ccm 1 % auf 40° erwärmter Kochsalzlösung injicirt. Die

Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe vor und nach der Injection ergab im im Mittel dieselben Zahlen: 5—5½ ccm alle 15 Minuten. Stündlich wurden aus der Bauchhöhle Portionen Flüssigkeit entnommen zur Untersuchung auf Kochsalz:

I. Probe: 8 ccm —0,86 % ClN

II. Probe: 12 ccm —0,77 % ClN.

Um 12 Uhr 30 Minuten wurde der Hund getödtet und aus der Bauchhöhle wurden erhalten 285 ccm mit 0,74 % ClN.

III. Versuch 21. Mai 1894.

Einem Hunde von 5600 gr wurden um 9 Uhr 30 Min. in die Bauchhöhle 187 ccm 0,8 % auf 40° erwärmter NaCl-Lösung injicirt.

Um 1 Uhr wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 134 ccm 0,77 % NaCl gefunden. Der Versuch geschah ohne Chloroform, und der Hund nach der Einspritzung laufen gelassen.

IV. Versuch 25. Mai 1894.

Einer Hündin, 8360 gr, wurden 11 Uhr 30 Min. 275 ccm 0,75 % NaCl-Lösung injicirt. Um 3 Uhr wurde der Hund entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurde gefunden 150 ccm Flüssigkeit 0,76 % NaCl. Der Versuch geschah ohne Narcose.

V. Versuch 30. Mai 1894.

Einem Hunde von 5050 gr wurden 280 ccm einer 0,66 % auf 40° erwärmter Kochsalzlösung injicirt. Nach 3 Stunden wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle wurden gefunden 165 ccm 0,76 % NaCl. Versuch ohne Narcose.

VI. Versuch 1. Juni 1894.

Einer Hündin von 6500 gr wurden um 9 Uhr 30 Min. 295 ccm einer 0,64 % auf 40° erwärmten NaCl-Lösung eingespritzt. Nach 3 Stunden wurde der Hund entblutet und getödtet. Aus der Bauchhöhle erhalten 146 ccm 0,75% NaCl. Versuch ohne Narcose.

VII. Versuch 3. Juni.

Einem Hunde von 7800 gr Gewicht wurden um 9½ Uhr 275 ccm einer 0,48% NaCl-Lösung eingeführt. Nach 3 Stunden wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 142 ccm Flüssigkeit 0,78% NaCl gefunden. Versuch ohne Narcose.

VIII. Versuch 9. Juli 1894.

Einem Hunde von 12200 gr wurden um 10 Uhr Morgens 278 ccm einer auf 40° erwärmten 0,45% NaCl-Lösung eingeführt. Nach vier Stunden wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 112 ccm 0,72% NaCl enthaltender Flüssigkeit gefunden. Versuch ohne Narcose.

IX. Versuch 29. Mai 1894.

Einem Hunde von 11 300 gr wurden um $9\,^1/_2$ Uhr 370 ccm einer erwärmten $0{,}42\,^0/_0$ Kochsalzlösung injicirt. Um 12 Uhr 30 Min. wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 150 ccm einer $0{,}76\,^0/_0$ NaCl enthaltenden Flüssigkeit gefunden. Versuch ohne Narcose.

X. Versuch 16. Juli 1894.

Einem Hunde von 7700 gr wurden um 10 Uhr 295 ccm einer auf 40^0 erwärmten $0{,}4\,^0/_0$ NaCl-Lösung injicirt. Nach $3\,^1/_2$ Stunden wurde der Hund entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurden gefunden nur 28 ccm Flüssigkeit, enthaltend $0{,}77\,^0/_0$ NaCl. Versuch ohne Narcose.

XI. Versuch 17. Juli 1894.

Einem Hunde von 6900 gr wurden um $9\,^1/_2$ Uhr 300 ccm einer erwärmten $0{,}4\,^0/_0$ NaCl-Lösung injicirt. Um $12\,^1/_2$ Uhr wurde der Hund entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurden gefunden 154 ccm Flüssigkeit, enthaltend $0{,}77\,^0/_0$ NaCl. Versuch ohne Narcose.

XII. Versuch 18. Mai 1894.

Einem Hunde von 8000 gr, der 24 Stunden gehungert, wurden um 9 Uhr 35 Min. 400 ccm einer auf 40^0 erwärmten $0{,}3\,^0/_0$ NaCl-Lösung eingeführt. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe vor der Ausspritzung $5-5\,^1/_4$ ccm alle 15 Min., nach der Einspritzung von 4—5 ccm. Um 12 Uhr 35 Min. wurde der Hund getödtet und aus der Bauchhöhle wurde erhalten 195 ccm einer $0{,}67\,^0/_0$ NaCl enthaltender Flüssigkeit.

XIII. Versuch 25. Mai 1894.

Einem Hunde von 5000 gr wurden um 9 Uhr 15 Min. eine auf 290 ccm erwärmten $0{,}3\,^0/_0$ NaCl-Lösung injicirt. Um 12 Uhr 30 Min. wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle wurden 170 ccm einer $0{,}76\,^0/_0$ NaCl enthaltender Flüssigkeit gefunden.

XIV. Versuch 28. Mai 1894.

Einem Hunde von 8500 gr Gewicht wurden um 9 Uhr 30 Min. 290 ccm einer auf 40^0 erwärmter $0{,}3\,^0/_0$ Kochsalzlösung eingeführt. Um 12 Uhr 45 Min. wurden in der Bauchhöhle 155 ccm $0{,}72\,^0/_0$ ClN enthaltender Flüssigkeit gefunden.

XV. Versuch 8. Juni 1894.

Einer Hündin von 7000 gr wurden um 9 Uhr 15 Min. 294 ccm einer auf 40^0 erwärmten $0{,}33\,^0/_0$ ClN-Lösung injicirt. Nach 3 Stunden wurde der Hund entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurden 148 ccm $0{,}75\,^0/_0$ ClN enthaltender Flüssigkeit gefunden.

XVI. Versuch 12. Juni 1894.

Einem Hunde von 9000 gr wurde um 9 Uhr 15 Min. 280 ccm einer 0,33 % erwärmten ClNatr.-Lösung injicirt. Nach 3 Stunden wurde der Hund getödtet und in seiner Bauchhöhle 148 ccm 0,75 % ClN enthaltenden Flüssigkeit gefunden.

Zur besseren Uebersicht und allgemeinen Prüfung der Fälle sind dieselben auf der unten folgenden Tabelle aufgezeichnet (N. 2).

Die ausgeführten Versuche zeigen klar, dass Lösungen von Kochsalz von der Concentration 1 % — 0,3 % aus der Bauchhöhle resorbirt werden, wobei bei Concentration von 1 % — 0,4 % einschliesslich Wasser und Salz resorbirt wird, bei Concentration von 0,3 % nur Wasser, Salz dagegen in die Bauchhöhle aus den Blutcapillaren austritt (siehe Säule *s*).

Aus den Beobachtungen der Resorption von Serum aus der Bauchhöhle sahen wir, dass bei anhaltender Chloroformirung des Thieres weniger resorbirt wird, als bei entgegengesetzten Bedingungen; hier dagegen wird diese auffällige Abhängigkeit nicht beobachtet.

So, wenn wir einen Blick werfen auf die Columne *f* oder f_1, wo das Verhältniss des resorbirten Wassers zum eingeführten berechnet ist, d. h. einen wie grossen Theil des letzteren das erstere ausmacht, und mit der Col. b vergleichen, so bemerken wir leicht einen Zusammenhang zwischen der Concentration der eingeführten Lösung und der resorbirten Flüssigkeitsmenge. Bei 1 % Lösungen gleicht f_1 0,21 — 0,37, bei 0,4 — 0,3 % der Lösung schwankt schon f_1 zwischen 0,41 — 0,9. Aus dem Gesagten ergiebt sich, dass mit der Verminderung der Concentration der Lösung die Menge der resorbirten Flüssigkeit zunimmt. Ganz das Gegentheil sehen wir bei Resorption des Salzes aus der Bauchhöhle, was aus den Säulen *s* und s_1[1]) ersichtlich. Bei 1 % Lösungen wurden 2,045 gr oder 0,51 (s_1) resorbirt, und je niedriger, desto weniger und weniger verschwand dasselbe aus der Bauchhöhle. Auf diese Weise kann man sagen, dass mit der Verminderung der Concentration der Lösung die resorbirte Salzmenge abnimmt.

---

1) S. das Verhältniss des resorbirten Salzes zum eingeführten.

Tabelle III.

Nummer	Körper-Gewicht	Eingeführt: Flüssigkeit in ccm a	Eingeführt: % ClN b	Eingeführt: ClN in gr c	Resorptionsdauer in Stunden t	Gefunden: Flüssigkeit in ccm a_1	Gefunden: % ClN b_1	Gefunden: ClN in gr c_1	Resorbirt: Flüssigkeit in ccm f	Resorbirt: Flüssigk. in Bruchtheilen der eingeführten Menge f_1	Resorbirt: ClN in gr s	Resorbirt: Salz in Bruchtheilen der eingeführten Menge s_1	Theoretische Concentration der resorbirten Flüssigkeit c	$\frac{s_1}{f_1}$	Procent. Beziehung der eingeführt. Flüssigkeit auf gesammtes Körpergewicht P	P. B. der resorbirt. Flüssigkeit auf gesammt. Körpergewicht P_1	P. Beziehung d. resorbirten Salzes auf gesammtes Körpergewicht P_2	ClN % in Blut-Serum	% ClN in d. Lymphe vor Injection	% ClN in d. Lymphe am Ende der Versuches
I. 2. V. 94	13000	400	1	4	3½	240	0,78	1,955	150	0,37	2,045	0,51	1,3	1,36	3,1	1,15	0,015	0,69	0,58	0,58
						I p. 10	0,83													
II. 16. V. 94	7600	400	1	4	3	285	0,74	2,2759	95	0,21	1,724	0,43	1,81	2	5,2	1,25	0,022	0,69	0,68	0,68
						I p. 8	0,86													
						II p. 12	0,77													
III. 20. VI. 94	5600	187	0,8	1,496	3½	134	0,77	1,0318	53	0,28	0,464	0,31	0,87	1,1	3,3	0,98	0,008	0,73	—	—
IV. 25. VI. 94	8260	275	0,75	2,0625	3½	150	0,76	1,14	125	0,45	0,922	0,44	0,73	0,97	3,3	1,5	0,011	0,76	—	—
V. 30. V. 94	5050	290	0,66	1,914	3	165	0,76	1,254	125	0,43	0,66	0,34	0,53	0,79	5,7	2,47	0,01	0,72	—	—
VI. 1. VI. 94	6500	295	0,66	1,947	3	146	0,75	1,095	149	0,50	0,85	0,43	0,57	0,86	4,5	2,3	0,013	0,69	—	—
VII. 3. VI. 94	7800	275	0,48	1,32	3	142	0,78	1,107	133	0,48	0,61	0,35	0,46	0,72	3,5	1,7	0,008	0,74	—	—
VIII. 9. VII. 94	12200	278	0,45	1,251	4	112	0,72	0,806	166	0,59	0,445	0,35	0,26	0,61	2,3	1,36	0,0036	0,71	—	—
IX. 29. V. 94	11300	370	0,42	1,554	3	150	0,76	1,140	220	0,59	0,414	0,26	0,18	0,44	3,2	1,94	0,0036	0,72	—	—
X. 16. VII. 94	7700	295	0,4	1,18	3½	28	0,77	0,215	267	0,9	0,965	0,81	0,36	0,09	3,8	3,4	0,012	0,74	—	—
XI. 17. VI. 94	6900	300	0,4	1,2	3	154	0,77	1,185	146	0,48	0,015	0,11	0,096	0,22	4,34	2,1	0,0002	0,75	—	—
XII. 18. V. 94	8000	490	0,3	1,2	3	195	0,67	1,452	185	0,46	—0,252	—	—	—	5,0	2,3	—0,003	0,64	0,68	0,63
						I p. 20	0,73													
XIII. 25. V. 94	5000	290	0,3	0,87	3	170	0,66	1,122	120	0,41	—0,252	—	—	—	5,8	2,4	—0,005	0,63	—	—
XIV. 28. V. 94	8500	290	0,3	0,87	3	155	0,72	1,116	135	0,46	—0,246	—	—	—	3,4	1,6	—0,003	0,69	—	—
XV. 8. VI. 94	7000	294	0,33	0,9702	3	130	0,76	0,988	164	0,58	—0,0178	—	—	—	4,2	2,34	—0,0002	0,66	—	—
XVI. 12. V. 94	9000	280	0,33	0,924	3	148	0,75	1,11	132	0,46	—0,186	—	—	—	3,1	1,4	—0,02	0,69	—	—

(NB. Eine Ausnahme macht der X. Fall, wo vom Salz 0,9 gr resorbirt wurden. Solche Fälle auffallend beschleunigter Resorption werden wir noch antreffen bei der Betrachtung der Versuche mit Kochsalzlösungen höherer Concentration.)

Die Zahlenergebnisse in den Säulen P_1 und P_2 zeigen dasselbe, d. h. P_1 — welches das Prozentverhältniss der resorbirten Flüssigkeit zum genannten Körpergewicht des Versuchsthieres ausdrückt — vergrössert sich, und P_2 — das Prozentverhältniss des resorbirten Salzes zum gesammten Körpergewicht — verkleinert sich mit der Verdünnung der eingeführten Lösung.

Das Verhälniss von s_1 zu f_1 nimmt gleichfalls allmählig ab mit der Abnahme der Concentration der Lösung.

Betrachten wir nun, wie der Prozentgehalt des Kochsalzes in der Flüssigkeit nach der Einführung in die Bauchhöhle sich ändert, so sehen wir (Säule b und b_1), dass im Laufe der Zeit das Procent je nach der Concentration der eingeführten Flüssigkeit zunimmt (bei Conc. von 0,6 — 0,3 %), oder abnimmt (bei Conc. von 1,0 — 8 %) im Vergleiche mit dem Prozent der eingeführten Lösung, und allmählig dem Prozentgehalt des Kochsalzes im Blutserum des Thieres nahekommt, was die letzte Säule der Tabelle zeigt. Der erste und zweite Versuch, wo nach bestimmter Zeit Flüssigkeitsproben aus der Bauchhöhle zur Untersuchung entnommen wurden, zeigen klar die allmählige Abnahme der Concentration. So verminderte sich im zweiten Versuch, wo eine 1 % Lösung eingeführt wurde, 1 Stunde nach der Einführung dieselbe schon auf 0,86 %, nach 2 Stunden auf 0,77 % und schliesslich nach 3 Stunden bis auf 0,74 %.

Aus der allgemeinen Betrachtung der erhaltenen Resultate der Versuche mit der Einführung verdünnter Salzlösungen in die Bauchhöhle ergiebt sich klar, dass zwar viele, aber doch nicht alle bei der Resorption beobachteten Erscheinungen durch die Gesetze der Osmose und Diffusion sich erklären lassen. Denn es ist aus der Tabelle zu ersehen, dass das Kochsalz aus den Blutcapillaren erst bei Injectionen von 0,3 % Lösungen auszutreten beginnt (vgl. Col. s), während es nach den Gesetzen der Osmose viel früher (schon bei 0,4 — 0,6 %) in die Bauchhöhle austreten müsste, in Betracht dessen, dass das Blutplasma, von der Bauchhöhle durch eine Diffusionsmembran getrennt, eine höhere Concentration hat, als 0,3 % nämlich 0,65 — 0,75 %.

Die Versuche von Prof. R. Heidenhain[1]) mit einem Pergamentrohre, das er, gefüllt mit einer Kochsalzlösung von einem Prozentgehalt niedriger (0,51 %) als das Blutserum, in letzteres tauchte, zeigten, dass das Salz aus dem Blutserum alsbald in die Kochsalzlösung übergeht bis zur vollständigen Gleichgewichtsherstellung der Prozentgehalte des Salzes. Im lebenden Organismus geht dies, wie wir sehen, anders vor sich, denn es giebt sogar eine 0,4% Lösung noch einen Theil seines Salzes dem Blute.

Wenn also auch bei der Resorption der besprochenen Kochsalzlösungen eine grosse Zahl von Erscheinungen sich den Osmose-Gesetzen fügen, so ist dies doch nicht durchgehends der Fall; denn die Bewegung des ClNa aus Lösungen von 0,4—0,6% nach dem Blute (mit 0,7%) ist osmotisch nicht verständlich.

Die Resorption von Kochsalzlösungen von einer Concentration höher als 1%.

Stellt man sich auf den Standpunkt der Diffusionsgesetze, so muss bei Einführung von Kochsalzlösungen der oben bezeichneten Concentrationen folgendes eintreten:

1. Da sie eine höhere endosmotische Spannung haben, als die Blutflüssigkeit, muss zunächst Wasser aus dem Blute austreten.

2. Da die Partialspannung des Kochsalzes höher ist als im Blute, muss Salz verschwinden, um so schneller, je höher die Concentration.

3. Beide Vorgänge führen natürlich zu einer Verringerung des prozentischen Kochsalzgehaltes der Flüssigkeit. Ist dieser unter 1% gesunken, d. h., die endosmotische Spannung der Flüssigkeit unter die des Blutes, dann, aber nicht früher, kann Flüssigkeitsresorption stattfinden (siehe den vorigen Abschnitt). Im Darme verlaufen die Vorgänge nachweislich nicht nach diesem Osmoseschema. Bei Kochsalzlösungen bis zu 1,5 %, ja unter Umständen bis 2%, tritt keine Flüssigkeitsausscheidung ein. Der Kochsalzgehalt verringert sich durch Diffusion, aber bereits erheblich früher, als die endosmotische Spannung des Darminhaltes unter die des Blutes gesunken ist, verringert sich auch die Flüssigkeitsmenge (R. Heidenhain), lauter Erscheinungen, die sich mit der Annahme der Dif-

1) R. Heidenhain, ibid. S. 605.

fusion als einzigen bei der Resorption wirksamen Vorganges nicht vereinigen lassen.

Für die Resorption in der Bauchhöhle lässt sich die Analyse des Vorganges nicht so weit treiben, wie für die Aufsaugung im Darme. Denn hier ist es möglich, eine Reihe von Beobachtungen hinter einander an derselben Schlinge anzustellen und deshalb den Ablauf des Resorptionsvorganges in der Zeit zu studiren. Dort ist an demselben Thiere nur eine Beobachtung möglich, weil die Gewinnung der Rückstandsflüssigkeit die Tödtung des Thieres voraussetzt.

So weit bei dieser Einengung der Versuchsweise unsere Erfahrungen reichen, treten bei der Resorption der Salzlösungen keine Erscheinungen auf, die sich nicht endosmotisch verstehen liessen.

I. Versuch 30. April 1894.

Ein Hund, 8600 gr schwer, hungerte 48 Stunden. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe vor der Einspritzung war gleich:

von 10 Uhr	5 Min.	—	10 Uhr	15 Min.	$1^{3}/_{4}$	ccm Lymphe				
„ 10 „	15 „	—	10 „	25 „	$1^{1}/_{4}$	„	„	Die ganze Zeit bildeten sich Gerinsel in der Canüle.
„ 10 „	25 „	—	10 „	35 „	$1^{3}/_{4}$	„	„	
„ 10 „	35 „	—	10 „	45 „	$1^{1}/_{4}$	„	„	

Um 10 Uhr 45 Min. wurden in die Bauchhöhle 286 ccm einer auf 40° erwärmten 1,48% Kochsalzlösung eingeführt. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe nach der Injection:

von 10 Uhr	50 Min.	—	11 Uhr		$^{3}/_{4}$	ccm (Lymphegerinsel i. d. Canüle)
„ 11 „		—	11 „	10 Min.	$1^{1}/_{4}$	„ „
„ 11 „	10 „	—	11 „	20 „	$1^{1}/_{4}$	„ „
„ 11 „	20 „	—	11 „	30 „	$2^{1}/_{4}$	„ „
„ 11 „	30 „	—	11 „	40 „	$1^{1}/_{4}$	„ „
„ 11 „	40 „	—	11 „	50 „	$1^{1}/_{4}$	„ „

Die weitere Messung der Lymphe zeigte dasselbe. Um $3^{1}/_{2}$ Uhr Nachmittags wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 300 ccm einer zähen, 1,02% NaCl enthaltenden Flüssigkeit gefunden.

II. Versuch 2. Mai 1894.

Eine Hündin, 10200 gr, hungerte 24 Stunden. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe vor der Einspritzung glich im Mittel 7 ccm alle 10 Min., nach der Einführung der Lösung 3 ccm in 10 Min.

Um 12 Uhr wurden in die Bauchhöhle 290 ccm auf 40° erwärmter 1,48 % Kochsalzlösung injicirt. Nach 3 Stunden wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 160 ccm 0,8 % NaCl enthaltender Flüssigkeit gefunden. Resorbirt wurden 130 ccm der Lösung.

III. Versuch 7. Mai 1894.

Einem Hunde von 9500 gr wurden in die Bauchhöhle um 10 Uhr 50 Min. 390 ccm einer auf 40° erwärmten 1,53 % NaCl-Lösung injicirt. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe vor der Injection glich im Mittel 0,86 ccm, nach der Injection 0,62 ccm alle 10 Min. Um 12 Uhr 20 Min. wurden aus der Bauchhöhle 20 ccm entnommen, worin 1,02 % NaCl gefunden wurde. Um 2 Uhr wurde der Hund getödtet und aus der Bauchhöhle 370 ccm Flüssigkeit mit 0,9 % NaCl erhalten.

IV. Versuch 9. Mai 1894.

Einem Hunde, 13300 gr Gewicht, der 24 Stunden gehungert, wurden in die Bauchhöhle um 11 Uhr Morgens 500 ccm einer erwärmten 1,53 % NaCl-Lösung injicirt. Alle halbe Stunden nach der Einspritzung wurden aus der Bauchhöhle Flüssigkeitsproben zu je 20 ccm entnommen.

Die 1. Probe enthielt 1,05 % NaCl.
„ 2. „ „ 0,97 „ „
„ 3. „ „ 0,9 „ „

Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe wurde gemessen im Mittel vor und nach der Einspritzung 3 ccm alle 10 Min. Um 2 Uhr 30 Min. wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 470 ccm Flüssigkeit mit 0,86 % NaCl gefunden.

V. Versuch 22. Jnui 1894.

Einem Hunde, 6200 gr Gewicht, wurden 11 Uhr Morgens 260 ccm auf 40° erwärmter 1,5 % NaCl-Lösung eingeführt. Nach 3½ Stunden wurde der Hund entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurden 275 ccm trüber Flüssigkeit mit 0,84 % NaCl gefunden.

VI. Versuch 7. Juli 1894.

Einem Hunde, 7300 gr, wurden 11 Uhr 20 Min. 292 ccm auf 40° erwärmter NaCl-Lösung von 1,4 % eingeführt. Nach 5 Stunden wurde der Hund getödtet und aus der Bauchhöhle 238 ccm mit 0,85 % NaCl erhalten.

VII. Versuch 4. August 1894.

Einem Hunde, 9800 gr, wurden um 9 Uhr 30 Min. 280 ccm auf 40° erwärmter 1,4 % NaCl-Lösung eingeführt. Um 11 Uhr 30 Min. wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 285 ccm Flüssigkeit mit 0,94 % NaCl gefunden.

VIII. Versuch 18. Juni 1894.

Einem Hunde von 7000 gr Gewicht wurden um 9 Uhr 40 Min. Morgens 260 ccm einer auf 40° erwärmten Kochsalzlösung eingeführt. Nach 3 Uhr 20 Min. wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 187 ccm mit 0,77% NaCl gefunden.

Die angestellten Versuche zeigen, dass Kochsalzlösungen von 1,53—1,4% im Laufe von 3 Stunden nicht resorbirt werden, sondern im Gegentheil, wie wir es bei Einführung concentrirten Serums sahen, das Volumen der eingespritzten Flüssigkeit zunimmt. Eine Ausnahme davon machte der Fall Nr. 2, wo eine ungeheure Menge Flüssigkeit resorbirt wurde (siehe Tabelle Nr. III) schon im Laufe von 3 Stunden. Bei Einführung von 1,4% Kochsalzlösungen wurde nach 2 Stunden eine Vermehrung der Flüssigkeit um 5 ccm bemerkt, nach 5 Stunden aber eine bedeutende Verminderung derselben um 54 ccm, ebenso wie bei 1,19% Lösung eine Resorption der Flüssigkeit nach $3\,^1/_4$ Stunden in der Menge von 73 ccm oder in Bruchtheilen der eingeführten 0,28 Th. bemerkt wird. In allen Fällen, wo Resorption stattfand, war der Kochsalzgehalt durch Diffusion so weit gesunken (0,77 — 0,85%), dass die endosmotische Spannung der Lösung unter der des Blutes stand. Ob die Flüssigkeitsresorption schon bei höherem ClNa-Gehalte begonnen, liess sich aus dem oben angeführten Grunde nicht feststellen.

Die Resorption des Salzes dagegen trat in allen Fällen in grösserer oder geringerer Menge ein (siehe Col. ς und ς_1). Mit der Resoption des Salzes und dem Austritt von Wasser aus den Blutcapillaren vermindert sich allmählich die Concentration der eingeführten Lösung, wie die alle 10 Minuten aus der Bauchhöhle des Thieres entnommenen Proben zeigen, und nähert sich in dem Kochsalzgehalte dem Blutserum des Versuchsthieres; das letztere aber scheint eine vermehrte Menge von Kochsalz zu enthalten. Das ist leicht zu bemerken, wenn man bloss die letzte Columne der 3. Tab. mit der der Tab. 2. vergleicht; hier schwankt der Procentgehalt des Kochsalzes im Blutserum zwischen 0,71%—0,82%, dort dagegen zwischen 0,63—0,76%, woraus man voraussagen kann, dass bei Einführung von Kochsalzlösungen hoher Concentration der Gehalt des Kochsalzes im Blute sich vergrössert.

Die eingeführte Lösung erreicht im Laufe der Zeit eine sol-

Tabelle III.

Nummer	Körpergewicht	Eingeführt: Flüssigkeit in ccm	Eingeführt: % ClNa	Eingeführt: ClNa in gr	Resorptionsdauer in Stunden	Gefunden: Flüssigkeit im ccm	Gefunden: % ClNa	Gefunden: ClNa in gr	Resorbirt: Flüssigkeit in ccm	Resorbirt: Flüssigkeit in Bruchtheilen der eingeführten Menge	Resorbirt: Salz in gr	Resorbirt: Salz in Bruchtheilen der eingeführten Menge	Procent. Beziehung d. injicirt. Flüssigkeit auf gesammtes Körpergewicht	P. B. d. resorbirt. Flüssigkeit auf gesammt. Körpergewicht	P. B. d. resorbirt. Salzes auf gesammtes Körpergewicht	% ClN in Blutserum	% ClN in der Lymphe vor der Injection	% ClN in der Lymphe nach der Injection	Bemerkungen
I 30. IV. 94	8600	286	1,48	4,2328	$4\frac{3}{4}$	300	1,02	3,06	—14	—	1,1728	0,274	3,3	—	0,013	—	—	—	Mit der Narcose
II 2. V. 94	10200	290	1,48	4,292	3	160	0,8	1,280	+130	0,448	3,012	0,702	2,85	1,27	0,029	0,72	0,68	0,70	„ „ „
III 7. V. 94	9500	390	1,53	5,967	3	320	0,9	3,534	0	—	2,433	0,407	4,1	—	0,025	0,72	0,6	0,75	„ „ „
						I p. 20	1,02												
IV 9. V. 94	13300	500	1,53	7,6500	$3\frac{1}{2}$	470	0,86	4,626	—30	—	3,024	0,395	3,7	—	0,022	0,75	0,75	0,78	„ „ „
						I p. 20	1,05												
						II p. 20	0,97												
						III p. 20	0,9												
V 22. VI. 94	6200	260	1,5	3,900	$3\frac{1}{2}$	275	0,84	2,31	—15	—	1,59	0,407	4,2	—	0,022	0,82	—	—	Ohne die Narcose
VI 7. VII. 94	7300	292	1,4	4,088	5	238	0,85	2,023	+54	0,18	1,965	0,49	4	0,74	0,027	0,76	—	—	„ „ „
VII 2. VII. 94	9800	280	1,4	3,92	2	285	0,94	2,679	—5	—	1,241	0,317	2,8	—	0,012	0,78	—	—	„ „ „
VIII 18. V. 94	7000	260	1,19	3,094	$3\frac{1}{4}$	187	0,77	1,4399	+73	—	1,6541	0,534	3,7	1,04	0,023	0,71	—	—	„ „ „

che Verdünnung, dass die Bedingungen der Resorption sich wesentlich ändern und solche eintreten, wie bei Einspritzung von Lösungen gleich 1 % oder niedriger. Angesichts der Unmöglichkeit, wiederholt an einem und demselben Thiere zu experimentiren, wie es die Versuche mit dem Dünndarm gestatten, kann, wie schon oben bemerkt, nicht bewiesen werden, wie das Volumen der Flüssigkeit nach bestimmten Zeiträumen sich ändert, jedoch theoretisch muss angenommen werden, dass in der ersten Stunde des Versuchs mehr Wasser aus den Blutcapillaren austritt, in den weiteren immer weniger und weniger, bis schliesslich die Concentration der Lösung den Grad erreicht, wo schon zugleich mit dem Salz auch das Wasser resorbirt zu werden anfängt und das Volumen der eingeführten Flüssigkeit abnimmt. Die Zeit zu bestimmen, die erforderlich ist zu einer solchen Abnahme der Concentration bei Einführung von Kochsalzlösungen verschiedenen Procentgehaltes, ist unmöglich, da dabei die Individualität des Thieres eine grosse Rolle spielt. Bei dem einen Hunde geschieht dieser Process schneller, bei dem andern langsamer; so ist im 2. Fall schon nach 3 Stunden die Resorption zu bemerken, im 3. bleibt im Laufe derselben Zeit das Volumen der eingeführten Flüssigkeit ohne Aenderung, während im 1., 4. und 5. Falle nach $3^1/_4$—$4^3/_4$ Stunden in der Bauchhöhle noch eine vergrösserte Flüssigkeitsmenge gefunden wurde. Wo die Grenze sich befinde, bei welcher im Laufe von 3 Stunden weder Vermehrung noch Verminderung der Flüssigkeit eintritt, kann nur annähernd gesagt werden; sie liegt wahrscheinlich um 1,4 %. Resümiren wir alles Gefundene, so können wir im Allgemeinen Folgendes sagen:

1. Mit der Vermehrung des Procentgehaltes des Kochsalzes in der eingeführten Flüssigkeit, verkleinert sich die Menge des resorbirten Wassers und schliesslich tritt eine Transudation von Flüssigkeit aus den Blutcapillaren auf.

2. Die Menge des resorbirten Salzes vermehrt sich dagegen.

3. Der Gehalt an Kochsalz in dem Blutplasma des Thieres vermehrt sich.

Alle soeben beschriebenen Erscheinungen können durch die Gesetze der Diffusion erklärt werden. Ebenso wie bei den Versuchen mit der Diffusionsmembran ausserhalb des lebenden Organismus, wo zwei Flüssigkeiten verschieden endosmotische Spannung

haben, so dringt auch hier das Wasser durch die Wand der Capillaren in die Bauchhöhle, das Salz aber in entgegengesetzter Richtung, oder mit andern Worten: der Wasserstrom geht von der Seite der geringeren Spannung nach der der grösseren, das Salz aber von der Seite des grösseren Gehaltes nach der des geringeren.

Weitere Versuche, welche die Diffusion beweisen.

Wenn die oben angeführten Erklärungen betreffs der Resorption von Kochsalzlösung richtig sind, so muss man erwarten, dass bei entgegengesetzten Bedingungen, d. h. bei Steigerung der endosmotischen Spannung des Blutplasmas durch Zufuhr von Kochsalz einerseits schneller Uebertritt in die Bauchhöhle, anderseits beschleunigtes Verschwinden von Wasser aus derselben stattfinden müsse.

Eine Vermehrung des Kochsalzes im Blute kann künstlich herbeigeführt werden, man braucht dazu nur allmählich eine Kochsalzlösung von bestimmter Concentration in das Blut einzuführen. In dieser Richtung wurden von uns 2 Versuche angestellt.

I. Versuch 27. Juni 1894.

Eine Hündin von 5600 gr hungerte 48 Stunden. Um 10 Uhr Morgens wurde mit dem Sammeln der Lymphe begonnen behufs Bestimmung der Ausflussgeschwindigkeit und der Zusammensetzung, wobei gefunden wurde, dass in 10 Min. aus dem Ductus thoracicus im Mittel ungefähr 6—7 ccm ausfliesst Um 10 Uhr 45 Min. wurden 15 ccm Blut aus der Art. cruralis entnommen behufs Untersuchung. Um 10 Uhr 50 Min. wurde in die Bauchhöhle 210 ccm 0,3% Kochsalzlösung eingespritzt. Gleich darauf wurde mittelst einer Canüle mit der Einführung einer 15% Kochsalzlösung in die veno jugularis begonnen, in der Weise, dass schnell 20 ccm dieser Lösung eingeführt wurden, hierauf alle 2 Min. je 5 ccm. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe stieg bedeutend.

Die Lymphe nach der Einspritzung.

	Lymphe	Zahl der Minuten
Von 10 Uhr 54 Min. — 11 Uhr 3 Min.	11 ccm	9
„ 11 „ 3 „ — 11 „ 7 „	10 „	4
„ 11 „ 7 „ — 11 „ 10 „	10 „	3
„ 11 „ 10 „ — 11 „ 15 „	11 „	5
„ 11 „ 15 „ — 11 „ 19 „	$10^1/_2$ „	4
„ 11 „ 19 „ — 11 „ 22 „	10 „	3
„ 11 „ 22 „ — 11 „ 27 „	12 „	5

	Lymphe	Zahl der Minuten
Von 11 Uhr 27 Min. — 11 Uhr 32 Min.	10 ccm	4
„ 11 „ 32 „ — 11 „ 37 „	10 „	10
„ 11 „ 37 „ — 11 „ 42 „	10 „	5
„ 11 „ 42 „ — 11 „ 47 „	10 „	5
„ 11 „ 47 „ — 11 „ 52 „	10 „	5

Um 10 Uhr 55 Min. war der Versuch zu Ende. Aus der Art. cruralis wurde ein Theil Blut entnommen und der Hund durch Zerstörung der Medulla ablongata getödtet. An Salz wurde im ganzen 28,25 gr oder 155 ccm der Lösung oder 0,42 gr auf 1 Kilo Körpergewicht in das Blut eingeführt. Nach dem Tode wurden in der Bauchhöhle 100 ccm Flüssigkeit mit 1,31 % ClNa. gefunden, woraus ersichtlich, dass vom Wasser in einer Stunde 210—100=110 ccm resorbirt worden und von Salz aus den Blutcapillaren 0,680 gr ausgetreten sind. — Die Untersuchungen des Blutserums und der Lymphe, vor und nach der Einspritzung gewonnen, ergaben folgendes:

Vor der Einspritzung.

	Blutserum	Lymphe	Kochsalzlösung
Feste Theile	7,258 %	4,682 %	—
Organ. Substanz	6,380 „	3,856 „	—
Salze	0,878 „	0,826 „	—
Kochsalz	0,72 „	0,7 „	0,3 %

Nach der Einspritzung.

	Blutserum am Ende des Versuchs	Lymphe am Ende des Versuchs	Flüssigkeit aus der Bauchhöhle
Feste Theile	5,770 %	3,406 %	2,246 %
Org. Substanz	4,232 „	2,078 „	0,862 „
Salze	1,538 „	1,328 „	1,384 „
Kochsalz	1,26 „	1,2 „	1,31 „

II. Versuch 2. Juli 1894.

Ein Hund von 10000 gr hungerte 48 Stunden. Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe vor der Einspritzung gleicht im Mittel 4 ccm in 10 Min. Um 10 Uhr 46 Min. wurde 15 ccm Blut zur Untersuchung genommen. Um 10 Uhr 48 Min. Morgens wurden in die Bauchhöhle 275 ccm einer auf 40° erwärmten 0,3 % Kochsalzlösung eingeführt; gleich darauf wurde im Blut eine 10% Lösung von Kochsalz eingegossen, jede Minute je $3^1/_2$ ccm.

Die Ausflussgeschwindigkeit der Lymphe während des Versuches:

Zeit											Lymphe		Zahl der Minuten
Von	10	Uhr	48	Min.	—	11	Uhr	3	Min.		12	ccm	15
„	11	„	3	„	—	11	„	9	„		$9^1/_2$	„	6
„	11	„	9	„	—	11	„	19	„		$10^1/_2$	„	10
„	11	„	19	„	—	11	„	30	„		10	„	11
„	11	„	30	„	—	11	„	41	„		$10^1/_2$	„	11
„	11	„	41	„	—	11	„	55	„		10	„	14
„	11	„	55	„	—	12	„	8	„		10	„	13
„	12	„	8	„	—	12	„	15	„		6	„	7

Um 11 Uhr 15 Min. wurde die Einführung des Salzes in das Blut beendet. Auf solche Weise wurde im Laufe von 27 Min. in das Blut eingeführt 100 ccm einer 10 % Kochsalzlösung oder 1 gr auf 1 Kilo Körpergewicht.

Um 12 Uhr 15 Min. wurde der Hund entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurde gefunden 100 ccm Flüssigkeit, enthaltend 0,88 % Kochsalz. Folglich wurde Wasser resorbirt 275—100=175 ccm, Salz trat in die Bauchhöhle aus 0,715 gr. Die Untersuchung des Blutes, der Lymphe und der Flüssigkeit ergab folgendes:

Vor der Einspritzung.

	Blutserum	Lymphe	Kochsalzlösung
Feste Theile	8,16 %	4,046 %	—
Org. Substanz	7,262 „	3,220 „	—
Anorg. Substanz	0,898 „	0,826 „	—
Kochsalz	0,72 „	0,72 „	0,3 %

Nach der Einspritzung.

	Blutserum	Lymphe	Flüssigkeit aus der Bauchhöhle.
Feste Theile	7,300 %	3,320 %	1,914 %
Org. Substanz	6,230 „	2,322 „	0,908 „
Anorg. Substanz	1,070 „	0,998 „	1,006 „
Kochsalz	0,82 „	0,85 „	0,88 „

Die soeben beschriebenen Versuche bestätigen durchaus die von uns ausgesprochene Vermuthung. Wir beobachten hier eine schnelle Resorption der Flüssigkeit aus der Bauchhöhle und den Austritt des Salzes aus den Blutcapillaren. Schon bei normalem Verhältnisse, bei Einführung von 0,3 % Lösungen in die Bauchhöhle, geht ein Austritt von Salz in die Bauchhöhle vor sich, aber nicht so schnell und in nicht so grosser Menge, wie bei jenem Reichthum des Blutes an Salz.

In 5 Fällen von Einspritzung der 0,3 % Lösung (siehe Tab. II) wurden im Laufe von 3 Stunden im Mittel 147 ccm resorbirt, und Salz trat aus in Mengen von 0,0178—0,252, in den letzten Fällen aber bei Reichthum des Blutes an Salz wurde schon nach 1 und 1 St. 27 M. 100 und 175 ccm Wasser resorbirt und Salz trat aus 0,680 und 0,715 gr, ersichtlich also ein colossaler Unterschied zwischen den ersten und letzten Fällen.

Als Resultat der Resorption des Wassers und des Austrittes von Salz erscheint ein annähernder Ausgleich des Procentgehaltes des Kochsalzes im Blutserum und in der Flüssigkeit.

Im ersten Versuch glich das Procent des Kochsalzes in der Flüssigkeit und im Blutserum und der Lymphe am Ende des Versuchs 1,31 %; 1,26 %; 1,24 %; im zweiten 0,88; 0,82 %; 0,85 % d. h. alle Ziffern sind fast gleich. Gleichzeitig mit der Bereicherung des Blutes an Salz verkleinert sich dessen Procentgehalt an festen Bestandtheilen und organischen Substanzen, was aus Beobachtungen anderer Forscher bereits bekannt ist.

Einfluss des Fluornatriums auf den Resorptionsvorgang.

Bei den Versuchen Heidenhains über Darmresorption stellte sich heraus, dass ein Zusatz von FlNa zu den resorbirenden Kochsalzlösungen einen erheblichen Einfluss auf den Resorptionsvorgang hat. Bei einem Zusatz von mehr als 0,04—0,05 % traten anatomische Veränderungen der Schleimhaut auf: Zerstörung des Epithels, Stockung des Blutlaufes u. s. w. Bei der oben genannten Concentration dagegen wurden mikroskopisch feststellbare Veränderungen vermisst, während der Resorptionsvorgang sich verlangsamte; die Herabsetzung der Resorption betraf bei den höheren Salzconcentrationen (über 1 %) in stärkerem Maasse das Wasser, bei den anderen in stärkerem Maasse das Salz.

Ich habe eine Reihe von ähnlichen Versuchen in der Peritonealhöhle angestellt, aber mit wenig befriedigenden Resultaten, weil das FlNa hier stärkere anatomische Läsionen hervorruft, als im Darme. Merkwürdig genug, dass jenes Salz auf die verschiedenen Gewebe in so verschiedenem Maasse wirkt. Prof. Heidenhain sah bei intravenöser Injection oft eine völlige Zerstörung des Darmepithels, während die Flimmerzellen der Luftröhren an dem durch das Gift getödteten Thiere in normaler Weise thätig waren.

In dem Peritoneo treten ausserordentlich leicht Blutungen auf, so dass die eingeführte Kochsalzlösung am Ende des Versuches mehr oder weniger tief roth war. Aus der grossen Zahl von Versuchen, welche ich angestellt, bleiben nur einzelne übrig, welche eine klare unblutige Restflüssigkeit lieferten.

In diesen Versuchen zeigten sich bei Kochsalzconcentrationen von 0,4—0,6 % bei welchen ohne FlNa Salzresorption stattfindet, ohne Ausnahme umgekehrt ein Salzaustritt aus den Gefässen, während die Wasserresorption stark verringert war. Z. B. Vers. VI, VII, IX.

Darf man aus dieser allerdings geringen Versuchsziffer einen Schluss ziehen, so würde derselbe ähnlich lauten wie bei der Darmresorption. Die Kochsalzresorption in der Bauchhöhle aus Lösungen von 0,4—0,6 % musste auf eine Einwirkung der Peritonealwand bezogen werden. Diese Einwirkung ist durch das FlNa aufgehoben, deshalb tritt die Osmose in ihr Recht, indem Salz aus dem daran reicheren Blute in die daran ärmere Kohlenflüssigkeit übergeht.

I. Versuch 14. Juli 1894.

Einem Hunde, 10300 gr Gewicht, wurde um 10 Uhr 300 ccm einer 2,0250 gr Kochsalz oder 0,675 % + 0,03 gr Fluornatrium oder 0,01 % enthaltende Lösung eingeführt. Um 1 Uhr Mittags wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 160 ccm einer durchsichtigen Flüssigkeit gefunden, die 0,77 % ClNa oder 1,2325 gr Salz enthielt; hieraus ist ersichtlich, dass Flüssigkeit 140 ccm, und Salz 0,7925 gr resorbirt wurden.

Das Peritoneum, sowohl das viscerale als auch das parietale zeigte gar keine Veränderungen, vollständig glatt und glänzend.

In Betracht dessen, dass eine solche Dosis Fluornatrium keine sichtbaren Veränderungen weder in der Resorption des Salzes, noch in der des Wassers bewirkt hatte, vergrösserten wir bei folgenden Versuchen die Menge des Fluornatriums.

II. Versuch 23. Juli 1894.

Einem Hunde von 9100 gr Gewicht wurden um 10 Uhr 20 Min. 280 ccm einer Lösung eingeführt, die 1,848 gr ClNa oder 0,66 % + 0,93 gr oder 0,33 % FlN enthielt. 50 Min. nach der Einführung der Flüssigkeit starb der Hund. Bei Eröffnung Bauchhöhle wurde folgendes gefunden: die Bauchflüssigkeit von intensiv schwarzer Farbe, das Peritoneum reichlich mit Extravasaten bedeckt, besonders das Mesenterium des Dünndarms und das Netz; im Dünndarm finden sich bedeutende Veränderungen auf der Schleim-

haut: ausser der deutlich ausgesprochenen Hyperaemie auf der ganzen Strecke schulfert sich das ganze Epithel leicht ab und die Peyerschen Plaques, sehr gegossene, ragen im Innern des Darms hinein. Der Dickdarm zeigt keine Veränderungen. Hieraus ist ersichtlich, dass die gegebene Dosis zu gross sich erwies, da sie den Tod des Thieres verursacht. In den folgenden Versuchen fingen wir an, die Dosen allmählich zu verkleinern.

III. Versuch 24. Juli 1894.

Einer Hündin von 6300 gr Gewicht wurden 185 ccm einer Lösung eingespritzt, die 0,9435 gr ClNa, 0,51% + 0,277 gr FlN oder 0,15% enthielt. Nach 3 Stunden wurde die Hündin getödtet und in der Bauchhöhle 145 ccm einer dunkel gefärbten Flüssigkeit gefunden. Folglich wurden 40 ccm resorbirt. Aber da das Bauchfell nicht normal sich erwies wegen der zahlreich gefundenen Extravasate an den obengenannten Stellen, halten wir den Versuch nicht für regelrecht. Der Dünndarm zeigte gar keine Veränderungen.

IV. Versuch 25. Juli 1894.

Einem Hunde, 8300 gr, wurden um 11 Uhr 300 ccm einer Lösung eingeführt, die 1,620 oder 0,54% ClN + 0,36 oder 0,12% enthielt. Nach 3 Stunden wurde der Hund getödtet; in der Bauchhöhle wurden gefunden 240 ccm mit Blut gefärbte Flüssigkeit, jedoch weniger gefärbt als im vorigen Versuch. Auf dem Mesenterium des Dünndarms und dem Netz locale Extravasate.

V. Versuch 27. Juli 1894.

Einem Hunde, 9300 gr Gewicht, wurden um 9 Uhr 40 Min. 350 ccm einer Lösung eingeführt, die 2,046 gr oder 0,58% ClN + 0,36 FlN oder 0,142% enthielt.

Um 12 Uhr 40 Min. wurde der Hund getödtet und in der Bauchhöhle 275 ccm etwas blutig verfärbte Flüssigkeit 0,68% ClN gefunden. Hier wurde Wasser resorbirt, 75 ccm, Kochsalz 176 gr. Auf dem Bauchfell eine unbeträchtliche Anzahl von Extravasaten.

VI. Versuch 30. Juli 1894.

Einem Hunde, 8200 gr Gewicht, wurden um 10 Uhr 15 Min. 290 ccm einer Lösung eingeführt, die 1,218 gr oder 0,42% ClN + 0,232 oder 0,08% FlN enthielt. Nach 3 Stunden wurde der Hund entblutet und getödtet. In der Bauchhöhle wurden gefunden 215 ccm einer trüben, sehr wenig verfärbten Flüssigkeit 0,75% ClNa. Auf dem Bauchfell und namentlich auf dem Mesenterium eine geringe Anzahl Extravasaten.

Wasser wurde resorbirt — 75 ccm, Kochsalz transudirt — 0,494 gr.

VII. Versuch 1. August 1894.

Einem Hunde von 10300 gr Gewicht wurden um 11 Uhr Morgens 295 ccm einer Lösung eingeführt, die 1,2611 gr oder 0,43% ClNa $\pm$ 0,147 gr oder 0,05% FlN enthielt. Nach 3 Stunden wurde der Hund getödtet, wobei in der Bauchhöhle 210 ccm einer etwas getrübten Flüssigkeit mit dem Gehalt 0,72% ClN oder 1,5120 gr gefunden wurde.

Wasser wurde resorbirt 75 ccm. Kochsalz trat aus den Gefässen 0,2509 gr aus. Das Peritoneum ohne pathologische Veränderungen.

VIII. Versuch 2. August 1894.

Einem Hunde, 6580 gr Gewicht, wurden um 10 Uhr 20 Min. 290 ccm einer Lösung eingeführt, die 1,2470 gr oder 0,43% ClN + 0,174 gr oder 0,06% FlN enthielt. Nach 3 Stunden wurde der Hund getödtet und aus der Bauchhöhle 205 ccm mit Blut gefärbte Flüssigkeit erhalten, die 0,68% ClN enthielt.

Auf dem Mesenterium und dem Peritoneum parietale locale Extravasaten.

Wasser wurde resorbirt 85 ccm. Kochsalz trat aus den Blutgefässen 0,147 gr aus.

IX. Versuch 3. August 1894.

Einer Hündin, 6100 gr Gewicht, wurden um 10 Uhr 40 Min. 350 ccm einer Lösung eingeführt, die 2,177 gr oder 0,622% ClN + 0,15 gr oder 0,044% FlN enthielt. Nach 3 Stunden wurde der Hund getödtet, wobei in der Bauchhöhle 320 ccm einer durchsichtigen Flüssigkeit mit 0,76% ClN oder 2,432 gr gefunden wurde.

Wasser resorbirt 30 ccm; Salz aus den Gefässen ausgetreten — 0,255 gr.

Mit diesen letzten Versuchen mit Fluornatrium schliessen wir unsere Arbeit. Allerdings erschöpfen die oben angeführten Versuche die Frage von der Resorption aus der Bauchhöhle bei weitem nicht, und erscheint die Untersuchung in dieser Beziehung durchaus nicht vollständig, wir hoffen jedoch in Zukunft mit dieser Frage uns noch einmal zu beschäftigen. Die Erscheinungen, die wir bisher beobachteten, beweisen in positiver Weise, dass das Bauchfell nicht bloss eine passive Membran darstellt, durch welche Lösungen einfach diffundirten, wie durch jede andere Membran ausserhalb des lebenden Organismus, sondern dass es activen Antheil nimmt, der Art, dass durch denselben die physikalische Diffusion complicirt wird, auf ähnliche Weise, wie bei der Schleimhaut des Dünndarms (R. Heidenhain).

Vergleichen wir mit einander die Resorption aus dem Dünndarm mit der aus der Bauchhöhle, so finden wir, dass sie etwas von einander sich unterscheiden, im grossen und ganzen jedoch ähnlich sind. Aus dem Dünndarm, wie wir schon oben gesagt, wird Blutserum resorbirt, selbst wenn dasselbe erheblich concentrirt ist. Es wird ferner Wasser resorbirt aus Salzlösungen, deren endosmotische Spannung höher ist, als die des Blutes, und Kochsalz aus Lösungen, deren Gehalt geringer ist, als der des Plasmas.

Aus der Peritonealhöhle wird ebenfalls Serum in die Blutbahnen übergeführt, was auf eine von Wandung ausgehende Triebkraft hindeutet. Diese physiologische Triebkraft ist aber für den Darm grösser als für das Peritoneum, denn sie macht sich auch gegenüber erheblich eingedicktem Serum noch geltend, was in der Bauchhöhle nicht der Fall ist.

In der Bauchhöhle ferner findet ebenfalls Salzresorption aus Lösungen statt, deren Gehalt 0,6—0,4 % ist (also geringer als der Gehalt des Blutserums); die osmotische Triebkraft, welche einen Uebertritt von Salz aus dem Blute in die seröse Höhle veranlassen sollte, wird also überwunden. Erst wenn der Gehalt auf 0,3 % sinkt, tritt sie in ihr Recht ein, während sie im Darme auch dann noch nicht zur Geltung kommt. Ob im Peritonaeo Wasser aus Salzlösungen resorbirt wird, deren endosmotische Spannung über derjenigen des Blutes steht, lässt sich mit Sicherheit aus oben erörterten Gründen nicht entscheiden.

Alle Versuche endlich am Darme, wie in der Bauchhöhle, zeigen, dass bei günstig gestellten Bedingungen neben der physiologischen Triebkraft die osmotischen Kräfte in Wirksamkeit treten. In der Peritonealhöhle machen sich dieselben in weit höherem Maasse geltend, als im Darme, was in der geringeren Dicke der das Blut und den Höhleninhalt trennenden Gewebsschicht begründet sein mag.

Am Schlusse meiner Arbeit fühle ich mich gedrungen, meinen aufrichtigen Dank dem hochverehrten Geheimrath Herrn Prof. Heidenhain für seine unmittelbare Anleitung bei meiner Arbeit auszusprechen, ebenso dem hochgeehrten Prof. Herrn Röhmann für seine liebenswürdige Bereitwilligkeit, mir mit seinem Rathe beizustehen und meine chemischen Bestimmungen zu leiten.

Fig. 5.

S

a

Fig. 6ª

Fig. 10.

Fig. 14.

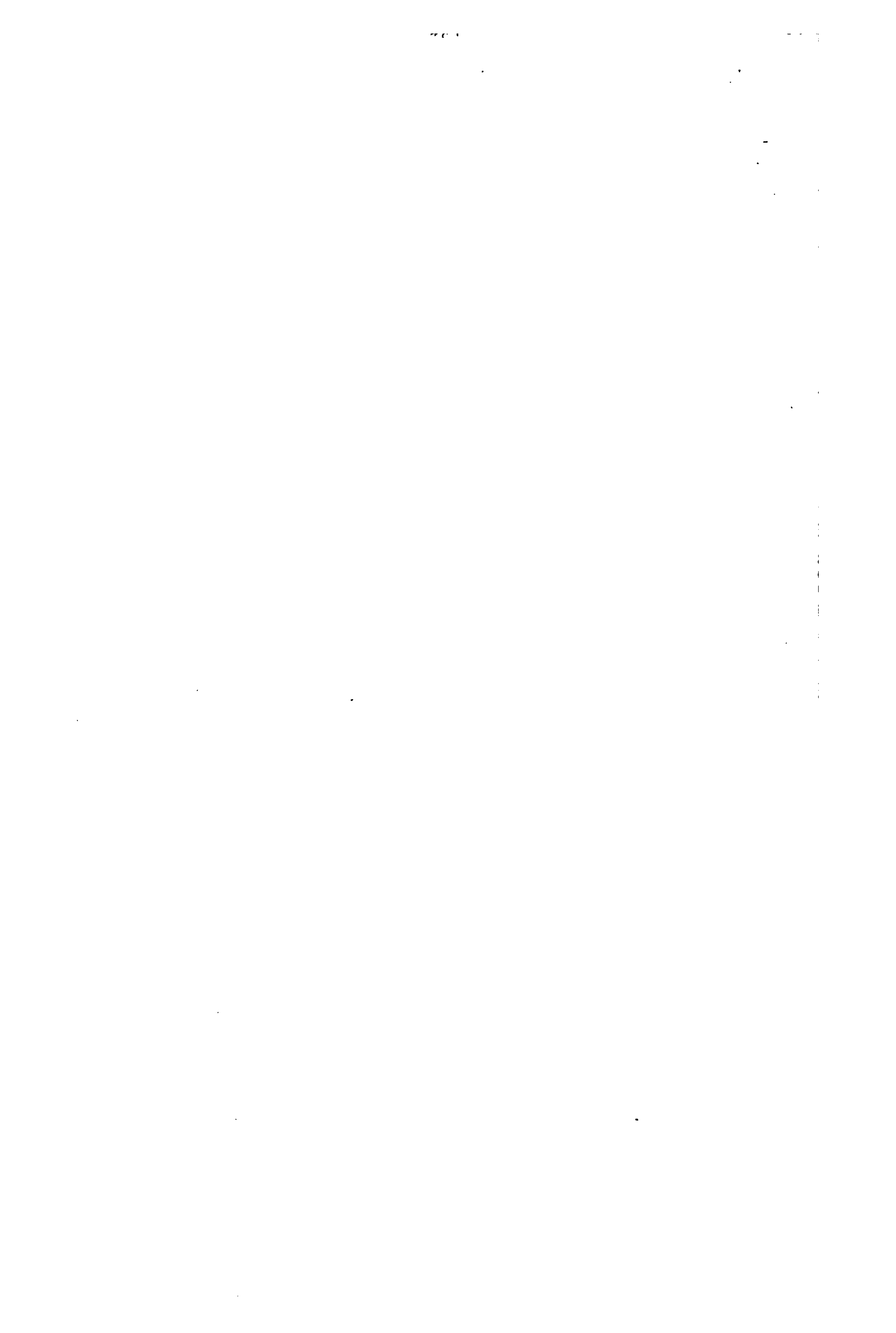
R 75

R 50

Fig. 19

Fig. 20

Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmst



(Aus dem physiologischen Institut in Rostock.)

Untersuchungen über das Verhalten der die Athmung beeinflussenden Vagusfasern gegen Kettenströme.

Von

O. Langendorff und **R. Oldag.**

Hierzu Tafel II und III.

Man weiss zur Genüge, wie wenig es bisher gelungen ist, die durch Reizung der centralen Vagusstümpfe zu erhaltenden Athmungsveränderungen zu beherrschen. Bald wiegen die inspiratorischen, bald die exspiratorischen Erfolge vor; bald treten Aenderungen des Athemrhythmus, bald solche der Ein- oder Ausathmungstiefe, bald beide zugleich ein; in dem einen Falle kommt es zu einem inspiratorischen, das andere Mal zum exspiratorischen Stillstand. Zahlreich sind die Bemühungen gewesen, die Bedingungen zu erforschen, unter denen die eine oder die andere, die erregende oder die hemmende Wirkung eintritt; doch vergeblich hat man die Stärke der Reizung und den Ermüdungsgrad des Nerven, wie die Athmungsphase, in der der Reiz hereinbricht (1), für den Erfolg verantwortlich zu machen gesucht; vergeblich hat man den Zustand des Centralorgans, schwächere oder tiefere Narkose, Apnoe und Dyspnoe, Vorhandensein oder Fehlen gewisser Gehirnabschnitte berücksichtigt, hat man das Thier erwärmt und abgekühlt. Sogar dem Geschlecht der Versuchsthiere hat man einen bestimmenden Einfluss auf den Reizungserfolg zugeschrieben (2). Im besten Falle hat man dabei, wie bei tiefer Chloralnarkose (3) oder bei Vergiftung mit Kohlensäure (4) den einen, den inspiratorischen Effekt fortfallen und nur die hemmende Wirkung übrig bleiben sehen. Jahrelang hatte man sich sogar darüber im Zweifel befinden können, ob bei reinen Reizungsversuchen neben der inspiratorischen über-

haupt eine exspiratorische Vaguswirkung existire, ob letztere nicht nur auf Versuchsfehler zurückzuführen sei.

So suchen denn neuere Autoren den Grund des wechselnden Erfolges in der „Individualität" des Thieres (5) oder in einer gewissen „Stimmung seines Centralnervensystems" (6), ein nicht sehr ermuthigendes Zugeständniss, das es ganz natürlich erscheinen lässt, wenn der neueste Forscher auf diesem Gebiete ausspricht, dass man niemals werde erwarten dürfen, von der centralen Vagusreizung eine bestimmte Wirkung zu erhalten, und dass man sich, besonders in Schulversuchen, hüten müsse, den Reizeffect vorher sagen zu wollen (6).

Unserer Meinung nach rührt dieser fragwürdige Zustand unseres Wissens wesentlich daher, dass man sich bei der Erforschung der Vagusfunktion zu sehr an die Anwendung der allerdings bequemen und sehr wirksamen, aber in ihrem Reizeffect doch nicht allein massgebenden inducirten Wechselströme gehalten hat. Erst nachdem Hering und Breuer ihre berühmten Versuche über die Selbststeuerung der Athembewegungen mitgetheilt hatten, bei denen die pulmonalen Vagusendigungen mechanisch erregt wurden, begann man auch andere Reize in Betracht zu ziehen.

Ein immer in demselben Sinne wirksames und die Existenz athmungshemmender Wirkungen des Vagus für alle Zeit sicherstellendes Reizmittel fand der eine von uns (7) in gewissen chemischen Einwirkungen (z. B. in der Reizung mit Glycerin); die fast gleichzeitig angestellten, neuerdings von ihm noch erheblich vervollständigten Versuche von Grützner (8), sowie die späteren von Gad (9), Knoll (10), Wertheimer (11), brachten eine vollkommene Bestätigung.

Zugleich fanden auch andere, mechanische und chemische Reize, Berücksichtigung, und Grützner, der zuerst die Wirkungen des Kettenstromes untersuchte (12), sah von ihm unzweideutige, in mehrfacher Hinsicht bemerkenswerthe Erfolge. Eine willkommene Ergänzung erfuhren diese Versuche durch die Beobachtungen Knoll's (13) über die Reizung des Vagus durch seinen eigenen Demarkationsstrom.

Die hier mitzutheilenden Untersuchungen schliessen sich an die soeben erwähnten Versuche von Grützner über die Wirkungen des Kettenstromes an, deren hauptsächlichsten Ergebnisse der eine

von uns schon vor Jahren zu bestätigen Gelegenheit hatte. Es erschien uns wünschenswerth, auf dem von ihm zuerst betretenen Wege die Untersuchung wieder aufzunehmen, zumal da Grützner seine Untersuchungen im Hinblicke auf gewisse Fragen der allgemeinen Nervenphysiologie angestellt hatte und demgemäss keine Veranlassung hatte, ihrer Bedeutung für die Athmungsinnervation weiter nachzugehen.

Grützner äussert sich über seine Beobachtungen folgendermassen: „Wir haben sehr häufig bei Kaninchen das centrale Ende des Vagus mit verschieden starken konstanten Strömen erregt und die sich ergebenden Effekte graphisch dargestellt. Was wir sahen, war stets folgendes: Stillstand des Zwerchfelles in Exspiration und wenn überhaupt eine Wirkung eintrat, verlangsamte Athmung derart, dass die Ruhepausen in das Exspirationsstadium fielen ....“ „Auch hier ging also der Reiz aus von der dem Centrum näher gelegenen Elektrode, in deren Bereich entweder dauernder Katelektrotonus herrschte oder Verschwinden des Anelektrotonus während kurzer Zeit auftrat. Als intensiverer Reiz wirkte hier, wie überall, das Entstehen des Katelektrotonus (langdauernder Stillstand des Zwerchfells in Exspirationsstellung), aber immer nur dann, wenn er an dem, dem Centrum nahe gelegenen Ende auftrat....“ Grützner's Versuchsergebnisse lassen sich also dahin zusammen fassen, dass Schliessung und Dauer konstanter, aufsteigender Ströme, in minderem Masse auch Oeffnung absteigender Ströme die Athmung im hemmenden Sinne beeinflusst, während Oeffnung des aufsteigenden und Schliessung des absteigenden Stromes wirkungslos ist. Der absteigende Strom verursachte während seiner Dauer keine Veränderung des Athemrhythmus, wohl aber Schmerzempfindungen.

Ausserdem liegen noch von Knoll (14) einige Aeusserungen über den Einfluss des Kettenstromes vor. Er sagt: „Als ein sehr einfaches, wenn auch nicht sehr exaktes Verfahren, diese Wirkung (scil. die exspiratorische des konstanten Stromes) zu demonstriren, habe ich das Anlegen eines einfachen Zinkkupferelementes („elektrische Pincette“) an den centralen Vagusstumpf erprobt. Man kann hiermit sehr ausgesprochene Wirkungen erzielen und nachweisen, dass dieselben an die aufsteigende Stromesrichtung gebunden sind.“ An einer anderen Stelle (15) benutzte Knoll im Rhythmus der Einathmungen einander folgende Schliessungen des

Kettenstromes, um vom Vagus aus einen apnoeartigen Athmungsstillstand zu erzeugen.

Der Vollständigkeit halber sei noch erwähnt, dass Schiff (16) den konstanten Strom zwar nicht zur Reizung des Vagusstammes, aber doch zu der des N. laryngens superior verwendet hat. „Si on l'expose," sagt er, „à un fort courant continu direct ou indirect (? Ref.), la respiration se ralentit notablement et il se produit un arrêt assez prolongé de l'action du diaphragme. Le ralentissement ce maintient pendant toute la durée du courant continu."

Andere einschlägige Versuche sind uns nicht bekannt.

Die Versuche von Grützner schienen uns nach mehreren Richtungen der Erweiterung fähig. So wahrscheinlich es schien, dass er mit Recht nicht nur der Schliessung und Oeffnung, sondern auch dem Dauerstrom Wirkungen auf den Vagus zugeschrieben hatte, so schien uns doch ein völlig scharfer Beweis für die Wirksamkeit des letzteren nicht erbracht. Hier war also ein erster Punkt zu erledigen.

Ein zweiter betraf die ausschliesslich athemhemmende Wirkung, die G. vom Kettenstrom gesehen hatte. Dem einen von uns waren schon vor mehreren Jahren bei einer Wiederholung dieser Versuche Thatsachen aufgefallen, die gegen diese Ausschliesslichkeit sprachen, die vielmehr eine antagonistische Wirkung verschiedenläufiger Ströme wahrscheinlich machten.

Endlich wollten wir auf Grund von später mitzutheilenden Ueberlegungen untersuchen, wie sich der Vagus unterbrochenen Kettenströmen gegenüber verhält [1]).

Zu den Versuchen haben uns ausschliesslich Kaninchen gedient. Durch Einspritzung von 0,25 bis 0,5 gr Chloralhydrat in die Bauchhöhle, nur ausnahmsweise durch höhere Gaben, wurden sie narkotisirt. Die Narkose darf nicht zu tief sein, weil sonst die

1) Die Resultate der ersten 12 Versuche sind mit ihren Protokollen mitgetheilt in der Dissertation von Oldag: Beiträge zur elektrischen Vagus-Reizung. Rostock 1894. Seither sind von uns noch zahlreiche neue Versuche angestellt worden, deren Ergebnisse die dort angeführten allgemeinen Folgerungen nur unerheblich modificirt, in einzelnen Punkten aber neue Gesichtspunkte eröffnet haben.

inspiratorische Wirkung des Vagus sehr schwach wird oder sogar verloren geht.

Den Strom lieferte ein Daniell oder eine Batterie von 2 bis 8 kleinen Tauchelementen. Ein bis zwei Elemente reichen zu allen Versuchen aus. In der Nebenschliessung befand sich öfters ein du Bois-Reymond'sches Rheochord oder auch ein einfacher Rheochorddraht (Kompensator). Ein Quecksilberschlüssel und eine Pohl'sche Wippe erlaubten den Strom zu schliessen, zu öffnen und zu wenden. Der Nerv, tief unten unterbunden und durchschnitten, lag durch Luft isolirt auf unpolarisirbaren Pinselelektroden. Oefters wurde nur eine Elektrode an den Nerv angelegt, die andere mit der wohl befeuchteten Bauchhaut in Berührung gebracht.

Immer waren beide Vagi durchschnitten, eine, wie schon früher von dem einen von uns hervorgehoben worden ist, unerlässliche Bedingung, wenn man vom centralen Vagusende aus gute Athmungswirkungen erhalten will.

Die Thiere waren tracheotomirt; die Trachealkanüle stand mit Luftflasche und Schreibkapsel in Verbindung. Die Zeichenspitze schrieb auf das berusste Papier eines Baltzar-Zimmermann'schen Cylinders. Wo es nöthig schien, wurde die Zeit (in Sekunden) und bei unterbrochenen Strömen die Reizfrequenz elektromagnetisch aufgeschrieben. Die bei Benützung unterbrochener Kettenströme verwendeten Vorrichtungen sollen unten beschrieben werden.

I. Die Wirkung aufsteigender und absteigender Kettenströme.

Wir werden im Nachfolgenden in Bestätigung der Versuche von Grützner beweisen, dass ein konstanter aufsteigender Strom, den man auf das centrale Vagusende wirken lässt, in allen Fällen die Athmung im exspiratorischen Sinne beeinflusst, d. h. entweder einen längeren exspiratorischen Stillstand herbeiführt oder doch die Athmung durch Hervorrufung exspiratorischer Pausen verlangsamt. Grützner schreibt, wie angeführt, diesen Erfolg nicht allein der Schliessung sondern auch der Dauer des Stromes zu. Obwohl wir anerkennen müssen, dass diese Folgerung eine grosse Wahrscheinlichkeit für sich hat, da z. B. in seinem durch seine Fig. 13 erläuterten Versuch die Hemmungswirkung fast

während der ganzen Dauer der Reizung, länger als $^{1}/_{2}$ Minute, anhält, und obwohl wir selbst bei sehr lange dauernder Durchströmung oft andauernde Erfolge gesehen haben, schien uns doch eine schärfere Begründung des ausgesprochenen Satzes wünschenswerth, um so mehr, als auch die Oeffnung des absteigenden Stromes, die natürlich nur einen flüchtigen Reiz bedeutet, langedauernde Exspirationsstillstände herbeiführen kann. So dauert in Grützner's Fig. 12 der Athemstillstand bei Oeffnung des ↓ Stromes etwa 12 Sec., der Schliessungsstillstand bei ↑ Strome 18 Sec.

Das Mittel, die Dauerwirkung des Stromes sicher darzuthun, haben wir im Einschleichen des Nerven in die Kette gefunden. Gelang es hierbei die Reizwirkung des Stromschlusses gänzlich zu umgehen, und trat dennoch von einer gewissen Stromstärke an eine exspiratorische Wirkung ein, so war die Wirksamkeit des Dauerstromes bewiesen. Der Versuch gestaltete sich folgendermaassen: Als Nebenschliessung zum Nervenkreise eines von einem Daniell gelieferten Stromes wird ein einfacher Rheochorddraht, ein „langer Kompensator" von du Bois-Reymond in bekannter Weise eingeschaltet. Auf die unpolarisirbaren Elektroden, auf die der centrale Vagusstumpf des Kaninchens zu liegen kommt, wird zugleich der Nerv eines Froschpräparates gelegt, so zwar, dass der den Vagus aufsteigend durchfliessende Strom den Frosch-Ischiadicus in absteigender Richtung durchströmen muss. Wurde nun, nachdem bei Nullstellung des Kompensatorschiebers der Strom geschlossen worden war, ohne irgend welche Wirkung zu entfalten, der Schieber langsam vorgerückt, so dass der durch die Nerven gehende Stromzweig eine allmählich wachsende Stärke gewann, so trat bei einer Drahtlänge von etwa 300 mm eine erhebliche exspiratorische Verlangsamung der Athmung ein, die bei weiterem Vorschieben bis auf 1000 mm nicht weiter zunahm (Fig. 1). Der Froschmuskel, dessen Nerv sehr erregbar war, hatte während des ganzen Versuches nicht ein einziges Mal gezuckt; erst, als der Strom geöffnet wurde, zuckte er kräftig; und als wir den Strom beim Rheochordstand 300 noch einmal schnell schlossen, machte er ebenfalls eine kräftige Schliessungszuckung. Dieser Versuch, den wir einige Male mit gleichem Erfolge wiederholt haben, beweist mit aller Sicherheit, dass in der That nicht allein durch Stromesschwankungen, sondern auch durch die andauernde aufsteigende Durchströmung der

Vagus im athmungshemmenden Sinne beeinflusst wird.

Ob auch der absteigende Strom, dessen Schliessung, wie wir sehen werden, die Athmung oft ebenfalls verändert, auch während seiner Dauer wirkt, haben wir nicht zu entscheiden versucht. Wir möchten aber glauben, dass dies der Fall sein kann, da wenigstens in manchen Fällen der Schliessung auch dieses Stroms eine längere anhaltende (inspiratorische) Athmungsveränderung entspricht.

Nach Erledigung dieses Punktes gehen wir dazu über, die Wirkung der Kettenströme näher zu betrachten.

Der exspiratorische Erfolg der Schliessung des aufsteigenden Stromes wie der seiner Dauer kann als ein absolut sicherer bezeichnet werden. Wir haben ihn nicht ein einziges Mal ausbleiben sehen. Der Erfolg besteht entweder in mehr oder weniger lange andauernden Stillständen (in Exspirationsstellung), wie in Fig. 2 und 3 oder im Auftreten einer durch Einschiebung kleinerer Exspirationspausen erzeugten Athmungsverlangsamung (s. Fig. 1).

Die Athemfrequenz pflegt dabei mindestens bis auf $^1/_2$—$^1/_3$ der normalen zu sinken: die Athempausen können die Zeit von 2 bis 15 normale Athmungen einnehmen; 10 bis 15 Sec. lang dauernde absolute Stillstände sind keine Seltenheit.

Die Stromstärke hat auf den Erfolg nur in engen Grenzen Einfluss, da das Maximum der Wirkung (andauernder Exspirationsstillstand) schon bei recht geringen Intensitäten einzutreten pflegt. Die Dauer der exspiratorischen Pausen scheint mehr durch andere Momente als durch die Reizstärke bestimmt zu werden. Den längsten Stillstand, der uns überhaupt vorkam, beobachteten wir bei Anwendung eines von 2 Tauchelementen gelieferten Stromes, dessen Intensität laut Aussage eines in den Kreis eingeschalteten Edelmann'schen Milliampèremeters höchstens 0,1 MA. entsprach. Die bei stärkeren Strömen erzielten Athempausen — wir hatten in einzelnen Fällen 16 und mehr kleine Elemente im Kreise und benützten Stromstärken, die weit über der angeführten lagen — blieben oft weit hinter diesen Wirkungen zurück.

Schon Knoll hat gezeigt, dass ungemein schwache Ströme ausreichen, um, bei aufsteigender Richtung, bereits starke Wir-

kungen hervorzubringen. Dass schon das Anlegen der sog. elektrischen Pincette dazu genügt, konnten wir oft bestätigen. In Fig. 4 (a und b) reicht es, wie man sieht, aus, um einen Stillstand von 6 Sek. Dauer oder eine auf etwa $^1/_3$ der gewöhnlichen herabgesetzten Athemfrequenz herbeizuführen; in Fig. 5 wurde die Athmungszahl auf etwa die Hälfte herabgedrückt.

Knoll hat bemerkt, dass diese Form der Reizung allerdings keine sehr exakte sei, doch ist, wie wir glauben, die Einmischung einer Reizung des Nerven durch seinen Eigenstrom, die man hier zu befürchten hätte, nicht wahrscheinlich, wenn man erst lange nach der Präparation und Unterbindung des Nerven die Pincette anlegt, und sogar gänzlich ausgeschlossen, wenn ihre Anlegung in umgekehrter Richtung die Athmung ganz unverändert lässt. Dass das letztere meistens der Fall ist, konnten wir oft beobachten.

Wie schwach der Strom werden kann, ohne seine Wirksamkeit einzubüssen, zeigte auch folgende Erfahrung. Wir hatten einen Daniell im Kreise, in der Nebenschliessung ein du Bois-Reymond'sches Reochord. Bei Ausschluss sämmtlicher Stöpselwiderstände gelang es schon, eine deutliche Athmungsverlangsamung herbeizuführen, wenn nur 10 mm Platindraht eingeschaltet wurden; und als in der Nebenschliessung sich 20 mm Draht befanden, traten schon erhebliche Athemstillstände auf (s. Fig 6 *a* und *b*).

Eine genauere Feststellung der Reizschwelle wurde nicht beabsichtigt.

Die Oeffnung des aufsteigenden Stromes ist nach Grützner ohne Einfluss auf die Athmung. Dies konnten wir öfters bestätigen; in anderen Fällen aber setzte sich die hemmende Wirkung des Stromes auch noch über die Oeffnung hinaus fort, so dass entweder der Stillstand noch eine Zeitlang andauerte (s. Fig. 3) oder doch eine allmählich schwindende Verlangsamung zurückblieb (Fig. 7). In der Mehrzahl der Fälle tritt indessen eine deutliche inspiratorische Oeffnungswirkung ein. Sie machte sich durch eine blosse Vertiefung der Inspiration (Fig. 8) oder durch einen kurzen inspiratorischen Stillstand (Fig. 9) bemerklich.

In den vorher gegebenen Aufzeichnungen sind ebenfalls Beispiele solcher Oeffnungswirkungen vorhanden. Unter ihnen lehren Fig. 4 und Fig. 5, dass zur Erzeugung derselben schon Ströme von ganz geringer Stärke ausreichen.

Die Schliessung des absteigenden Kettenstromes ist von viel geringerer Wirkung als die des aufsteigenden. Mitunter fehlt eine solche, wie Grützner angibt, gänzlich (vgl. sp. Fig. 13). Das ist besonders bei tiefer narkotisirten Thieren der Fall. In vielen anderen Fällen haben wir aber so deutliche inspiratorische Erfolge gesehen (inspiratorische Vertiefung, kurze Einathmungskrämpfe, mit Tiefstand des Zwerchfells einhergehende Beschleunigung, Verkleinerung und beschleunigter Ablauf der Exspiration), dass wir keine Bedenken tragen, die Schliessung des absteigenden Stromes als inspiratorisch wirksam zu bezeichnen (Fig. 10, 11, 12). Schmerzempfindungen, auf deren Hervorrufung durch absteigende Ströme Grützner aufmerksam gemacht hat, spielten bei diesem Erfolge jedenfalls nicht mit; denn die Thiere blieben, falls sie ausreichend betäubt waren, sonst völlig in Ruhe. Auch bewirkt Schmerz allerdings Veränderungen der Athmung, aber keinen Inspirationskrampf.

In einigen wenigen Fällen haben wir von sehr schwachen absteigenden Strömen schwach hemmende Schliessungswirkungen erhalten (vgl. die allerdings ganz unerhebliche Verkleinerung der Einathmungstiefe in Fig. 14). Es wäre möglich dass es sich in diesen Fällen um Störungen des Erfolges der Reizung durch Kurzschluss des Demarkationsstromes handelt.

Die Oeffnung des absteigenden Stromes bringt, wenn sie überhaupt wirksam ist, stets exspiratorischen Athmungsstillstand hervor, was wir, in Bestätigung der Angaben von Grützner durch die Figg. 12 und 13 erläutern.

Fig. 13 lehrt zugleich, dass die Oeffnung des Stromes schon wirksam sein kann, wenn die Schliessung noch gar keinen Erfolg gegeben hat.

Den Einfluss der Stromstärke erläutert Fig. 14: den stärkeren Strömen entsprechen längere Oeffnungsstillstände.

Das Ergebniss der bisher erwähnten Versuche wäre also, soweit allein Stromesschwankungen in Betracht kommen:

Athmungshemmend (exspiratorisch) wirkt Schliessung des aufsteigenden und Oeffnung des absteigenden Kettenstromes; athmungserregend (inspiratorisch) Oeffnung des aufsteigenden und Schliessung des absteigenden Stromes.

Es war zu erwarten, dass diese antagonistische Wirkung besonders deutlich sich aussprechen würde, wenn man die sog. Volta'sche Alternative anwendete. Einen Versuch dieser Art, dessen Ausfall unsere Erwartung bestätigte, stellt Fig. 15 dar. Die Legende zur Figur (S. 23) gibt die nothwendigen Erklärungen. Man erkennt, wie deutlich besonders die Einathmungsstillstände durch dieses Verfahren hervorgehoben werden. Zahlreiche ähnliche Versuche lieferten ähnliche, wenn auch nicht immer gleich prägnanten Ergebnisse.

Obwohl nach dem oben Mitgetheilten die inspiratorische Wirkung der Schliessung des absteigenden Stromes ausser Zweifel steht, ist doch sicher, dass sie sich weniger leicht beobachten lässt, wie die hemmende Wirkung, welche die Schliessung aufsteigender Ströme hat. Dies geht besonders aus einem Versuche hervor, den wir folgendermassen anordneten.

Von den beiden Vagi eines Thieres wurde der eine auf die Kathode, der andere auf die Anode eines von 2 Tauchelementen gelieferten Stromes gelegt, so dass der eine Nerv in aufsteigender, der andere in absteigender Richtung durchflossen wurde. Stets trat jetzt bei Schliessung des Stromes ein exspiratorischer Stillstand ein, gleichgültig ob der rechte oder linke Vagus aufsteigend durchströmt wurde. Die Wirkung der absteigenden Richtung kam gar nicht zum Vorschein. Wir werden sehen, dass bei Reizung mit unterbrochenen Kettenströmen die Sache sich gerade umgekehrt verhält, indem dabei die inspiratorische Wirkung des absteigenden Stromes allein zur Geltung kommt.

II. Folgerungen.

Die im vorhergehenden Abschnitt mitgetheilten Versuchsresultate können mit Zugrundelegung des Pflüger'schen Erregungsgesetzes auch so zusammengefasst werden, dass man sagt: Bei der Durchleitung von Kettenströmen durch den centralen Vagusstumpf wirkt die dem Centralorgan näher gelegene (proximale) Electrode hemmend, die entfernte (distale) erregend auf das Athmungscentrum ein[1]).

1) Von der Dauerwirkung des Stromes ist dabei angenommen, dass sie von derselben Elektrode ausgeht, die bei der Schliessung des Stromes wirksam ist.

Diese Formulirung erweckt sogleich den Wunsch, die Ursache dieser antagonistischen Polwirkung kennen zu lernen.

Vor allem sei betont, dass nicht etwa daran zu denken ist, die hemmende Wirkung der oberen Electrode auf die Nähe des N. laryngens sup. zu beziehen. Da die allerschwächsten aufsteigenden Ströme bereits wirksam sind, da sie auch dann nicht versagen, wenn man den Vagusstamm tief unten reizt und die Elektroden einander möglichst nähert, da ferner die in der Nähe des oberen Kehlkopfnerv gelegenen, ihn zum Theil bedeckenden Muskeln bei der Reizung gänzlich in Ruhe bleiben, so ist dieser Verdacht von vornherein abzuweisen.

Sodann könnte die Verschiedenheit der Polwirkung auf Intensitätsunterschieden beruhen. Nimmt man doch seit den Arbeiten von v. Helmolt und Aubert u. v. Tschischwitz vielfach an, dass schwache Vagusreizung inspiratorisch, starke exspiratorisch wirkt. Unter der Voraussetzung, dass die von der unteren Electrode ausgehende Erregung eine Schwächung erführe (etwa durch das von ihr zu durchlaufende Anelektrotonusgebiet), oder der aufsteigende Strom einen Zuwachs durch Addition des Nervenstromes, erschiene dann die Deutung der Erfolge recht einfach. Schon Grützner hat für die von ihm beobachtete reflectorische Blutdrucksveränderung, die er ebenfalls je nach der Stromesrichtung wechseln sah, ähnliche Voraussetzungen gemacht, ohne übrigens, wie er ausdrücklich hervorhebt, sich auf eine nähere Diskussion der Sache einlassen zu wollen. Dennoch trifft für die respiratorische Vaguswirkung unseres Erachtens die Herleitung des polaren Gegensatzes aus Stärkedifferenzen kaum das Richtige. Wir wissen jetzt, dass bei der gewöhnlichen Reizungsweise recht oft gerade die schwache Tetanisirung des Vagus athmungshemmend und dass ihre Verstärkung inspiratorisch wirkt (17). Wir sehen ferner, dass bei der Anwendung des Kettenstromes der aufsteigende schon bei so geringer Intensität exspiratorisch wirkt, dass die bei wirksamen absteigenden Strömen zum Centralorgan gelangenden Erregungswellen kaum noch schwächer sein können. Der Einwand, dass der Nervenstrom die Wirksamkeit des aufsteigenden Reizstromes vermehre, fällt fort, wenn wir mit einem aufsteigenden Minimalstrome einen absteigenden Maximalstrom vergleichen. Intensitätsverschiedenheiten zu Ungunsten des absteigenden Stromes sind hier sicher nicht das wirksame Moment. Es müsste sonst

doch möglich sein, den aufsteigenden Strom so weit abzuschwächen, dass seine Schliessung nicht mehr hemmend, sondern erregend wirkte. Das gelingt aber niemals!

So müssen wir uns denn nach einer andern Erklärung umsehen. Eine solche, freilich noch sehr hypothetische, die wir auch nur mit Vorbehalt aussprechen wollen, glauben wir unter folgender Annahme geben zu können. Der nächste Abschnitt wird zeigen, dass bei Anwendung rhythmisch unterbrochener Kettenströme auf den Vagus das respiratorische Centralorgan leicht und bei absteigender Stromesrichtung sicher und stark im inspiratorischen Sinne beeinflusst wird. Nehmen wir nun an, einfache galvanische Stromesschwankungen und die Stromesdauer wirkten nur hemmend, oscillatorische Schwankungen aber erregend, eine Voraussetzung, für deren Berechtigung manches spricht[1]), so brauchten wir, um das Verhalten verschieden gerichteter Kettenströme zu erklären, nur noch die weitere Annahme zu machen, dass die von der unteren, distalen, Elektrode ausgehende Erregung ein tetanisirendes Element enthalte. Danach würde der Vagus nicht durch eine einfache Schwankung sondern tetanisch erregt, wenn ein absteigender Strom geschlossen oder ein aufsteigender geöffnet würde, und die Erfolge solcher Erregung müssten nothwendigerweise inspiratorische sein. Oscillatorisch würde ferner vermuthlich auch die Dauer des absteigenden Stromes wirken. Dass dauernde Erregungen des Vagus, denen das rhythmische Moment fehlt, das Athmungscentrum nicht erregen, sondern beruhigen, lehrt auch die zuerst von dem Einen von uns festgestellte Thatsache, dass chemische Vagusreizung die Athmung immer hemmt. Es scheint uns kein Grund vorzuliegen, die chemische Nervenreizung als eine tetanisirende zu bezeichnen.

---

1) Vielleicht ist es sogar ein allgemeines Gesetz, dass die immer thätige Nervenzelle durch centripetal zugeführte Reize nur dann in gesteigerte Thätigkeit versetzt wird, wenn sie durch Reizfolgen erregt wird; dass sie dagegen in den Ruhezustand verfällt, wenn sie einen einmaligen Anstoss erfährt oder von einem im strengen Sinne dauernden Reize getroffen wird. Für diese Auffassung, und zwar nicht allein für den ersten Theil dieses Satzes, sprechen manche längst bekannte Thatsachen, Erfahrungen am reflektorisch thätigen Rückenmark, wie Beobachtungen an der Hirnrinde und an den Nervenzellen des Sympathikus. Doch soll hier auf diese Fragen, zu deren Erledigung es eines weit grösseren Materials bedürfte, nicht weiter eingegangen werden.

Beiläufig bemerkt würde die hier dargelegte Anschauungsweise bei allgemeiner Geltung auch verständlich machen, warum an Empfindungs-Nerven gerade absteigende Kettenströme schmerzerregend wirken (Grützner), während aufsteigende anscheinend eher depressorische Wirkungen zur Folge haben. Der Schmerz ist eben, wie Naunyn (18) wahrscheinlich gemacht hat, eine Summationserscheinung. Die antagonistischen Wirkungen, die Grützner bei Hervorrufung von Gefässreflexen durch absteigend und aufsteigend gerichtete Ströme beobachtet hat, bedürfen noch weiterer Aufklärung.

Indem unter dieser Annahme ein Verständniss für die antagonistische Wirkung der Schliessungen und Oeffnungen verschiedenläufiger Ströme erwächst, bleibt dahingestellt, ob die betreffenden Erregungen in den Vagi auf zwei antagonistische Nervenfasergattungen wirken, oder ob eine und dieselbe Faser je nach der Art ihrer Erregung das Centralorgan hemmend oder erregend beeinflusst. Die von uns mitgetheilten Beobachtungen liessen sich mit jeder von beiden Vorstellungen vereinigen. Die letzterwähnte darf als die einfachere bezeichnet werden, zumal da sie, wie die andere, die Erscheinungen erklärt, ohne dass man genöthigt wäre, an dem Gesetz von der specifischen Energie der Nerven zu rütteln.

Denn nur das Centralorgan würde den Erfolg der Reizung bestimmen: eine durch eine einzelne galvanische Schwankung bewirkte oder auch die dem Dauerstrom entsprechende Erregung würde (nach der Ausdrucksweise Hering's) Assimilationsvorgänge im Centrum auslösen, seine Nervenzellen zur Ruhe bringen, während wiederholte Anstösse dissimilatorisch wirken, die Thätigkeit des Centralorgans also steigern würden.

III. Reizung der Vagi mit rhythmisch unterbrochenen Kettenströmen.

Die im Abschnitt I geschilderten Versuchsergebnisse legten uns die Frage nahe, ob es nicht gelingen möchte, die Wirkung der Vagusreizung auf die Athmung dadurch zu steigern, dass man an Stelle der einfachen Schliessungen und Oeffnungen des Kettenstromes öfters wiederholte auf den Nerven einwirken liesse. Für die Wirkung aufsteigender Ströme war davon allerdings nicht viel zu erwarten; entfalteten diese doch schon bei einmaliger Schliessung

und schon bei sehr geringer Stromstärke maximale Wirkungen. Im Gegentheil: hier war eine subtraktive Wirkung durch das neu einzuführende tetanisirende Moment, insbesondere durch die summatorische Wirkung der wiederholten Oeffnung des Stromes nicht unwahrscheinlich. In der That zeigte sich, dass, damit auch rhythmisch unterbrochene aufsteigende Ströme in der gewohnten Weise, also hemmend, wirksam werden können, gewisse Bedingungen erfüllt sein müssen, die geeignet sind, jene Gegenwirkungen zu beseitigen.

Anders der absteigende Strom. Von der häufig wiederholten Oeffnung, die ja im allgemeinen sich als ein nur schwacher Hemmungsreiz erwiesen hatte, war kein Nachtheil zu erwarten, wenn nur die Schliessungsreize wirklich in dem Masse durch Summation wirksam wurden, wie wir es voraussetzten.

Es war sogar nicht unwahrscheinlich, dass die mit den Oeffnungen verbundenen Assimilationsreize (s. o.) durch Wiederholung in Dissimilationsreize sich verwandelten, also nicht hemmend sondern erregend wirkten.

Der Erfolg hat nun gezeigt, dass in der That bei Innehaltung gewisser Bedingungen absteigende, unterbrochene Kettenströme in jedem Falle inspiratorisch wirken, und dass auch die aufsteigenden sich leicht so anordnen lassen, dass sie eine kräftige, exspiratorische Wirkung entfalten.

Was die Versuchsmethode anlangt, so sahen wir gleich anfangs, dass schon durch schnell wiederholte Schliessungen und Oeffnungen absteigender Ströme, die am Quecksilberschlüssel mit der Hand vorgenommen wurden, viel intensivere Inspirationswirkungen erzielt werden konnten, als durch einfache Schliessung eines Stromes dieser Richtung.

Später benutzten wir zur Stromunterbrechung ein kleines Blitzrad, das durch eine Schwungmaschine in Umdrehung versetzt wurde. Ferner wurde in einzelnen Fällen ein Wagner'scher Hammer als Nebenschliessung zum Nervenkreise eingeschaltet. Auch mit diesen beiden Vorrichtungen erzielten wir deutliche Erfolge, wir gaben sie aber auf, weil wir Unterbrechungsfrequenz und Schliessungsdauer besser in unserer Gewalt haben wollten, als es bei ihnen möglich war.

Zu den meisten Versuchen diente uns eine Vorrichtung, die allerdings auch noch nicht alle wünschenswerthen Vorzüge besass, für den vorliegenden Zweck aber genügte. Mit dem Bau eines neuen allen Anforderungen voraussichtlich genügenden Apparates ist der Mechaniker des physiologischen Institutes, Herr Custos Westien, gegenwärtig beschäftigt.

Die von uns zumeist benutzten Unterbrecher bestehen aus dicken Messingscheiben, deren Ränder in bestimmten Abständen unterbrochen und durch Hartgummifüllungen ergänzt sind. Bei der einen Scheibe sind die zurückgebliebenen Metallzähne rechteckig und ihre Breite gleich der der nächsten Füllungsmasse; bei der anderen dreiseitig, etwa so, wie Figur 16 es zeigt. Auf dem Scheibenrande ruht, durch eine starke Spiralfeder fest angedrückt, das passend zugeschliffene Ende einer starken Metallzunge. Ein mit einer Stufenscheibe versehener Wassermotor setzt die auf eine leicht bewegliche mit einem Schnurrad ausgestattete Axe aufgekeilten Scheiben in Drehung. Die Umdrehungsgeschwindigkeit ist in weiteren Grenzen veränderlich. Die Kontaktdauer ist bei Anwendung der einen Scheibe stets annähernd der Unterbrechungsdauer gleich, bei der zweiten je nach der Einstellung der Kontaktzunge von veränderlicher Grösse, bei Einschaltung des Unterbrechers in den Hauptkreis aber höchstens $= 1/_5$ der Unterbrechungsdauer. Wird die letztere Scheibe als Nebenschliessung zum Nerven eingeschaltet, so kann man umgekehrt die Schliessungsdauer auf Kosten der Unterbrechungsdauer so wachsen lassen, dass sie mindestens 5 mal grösser wird als diese. Wir haben in vielen Fällen in den Kreis auch einen Schreibmagnet aufgenommen, der die Unterbrechungs- und Schliessungsdauer auf die rotirende Trommel aufschrieb.

Beginnen wir mit der Wirkung absteigend gerichteter unterbrochener Kettenströme. Es gelingt hier mit absoluter Sicherheit, inspiratorische Wirkungen zu erzielen, die in der Regel weit über das hinausgehen, was man bei einfachen Schliessungen der Kette sieht. In vielen Fällen entsteht schon bei Benutzung von einem Daniell oder von 1—2 Tauchelementen ein langandauernder, oft ganz glatter inspiratorischer Stillstand (Fig. 17 und 18), in anderen Fällen ist

„inspiratorische Beschleunigung“, d. h. sehr frequente und flache bei Tiefstand des Zwerchfells eintretende Athmungsweise die Folge. (Fig. 19), die durch eine Art von inspiratorischem Klonus den Uebergang zum reinen Inspirationstetanus findet. Seltener, und zwar bei schwachen Strömen, tritt nur ein mit Verkleinerung der Athmungen aber ohne merklichen Zwerchfellkrampf einhergehende Athmungsbeschleunigung auf, wie in Fig. 20.

Oeffnet man einige Zeit nach den Eintritt der Wirkung den Stromkreis, so sieht man öfters an den schon bestehenden, zuweilen schon etwas nachlassenden Inspirationsstillstand einen noch stärkeren Krampf der Einathmungsmuskulatur sich anschliessen, den Schreibhebel also noch tiefer unter die Nulllinie sinken (Fig. 21). War der Stillstand während der Reizung kein ganz vollständiger, so wird er es dann zuweilen bei der Oeffnung (s. Fig. 22).

Zuweilen macht das Thier im Moment der Oeffnung noch einen oder zwei schwache Athemzüge, um dann erst in neuen Inspirationskrampf zu verfallen (Fig. 23).

Für das Auftreten des inspiratorischen Erfolges ist die Häufigkeit der Unterbrechungen wie die Dauer der einzelnen Stromschlüsse ohne merklichen Einfluss. Wir beobachteten ihn beim schnellsten Gange des Motors, wie bei so langsamem, dass in der Sekunde nur 6—7 Reizungen erfolgten und nicht nur bei kurzen Schliessungen, sondern auch dann, wenn die Contaktdauer die Unterbrechungszeit um das fünffache und mehr übertraf. Eine Bedingung aber muss, wie überall, wo man vom Vagus inspiratorische Wirkungen sehen will, erfüllt sein: Die Chloralhydratnarkose darf nicht allzu tief sein.

Die Wirkung aufsteigender unterbrochener Kettenströme kann im Gegensatz zu der der absteigenden als eine exspiratorische bezeichnet werden. Sie schliesst sich ganz an die bei Anwendung aufsteigender Dauerströme erzielten Erfolge an. In den allermeisten Fällen sieht man somit einen völligen langedauernden exspiratorischen Stillstand, wie in Fig. 24, seltener ist er anfänglich (Fig. 25) oder während seiner ganzen Dauer unvollständig und von sehr seichten, aber zuweilen recht frequenten Einathmungen unterbrochen. In andern Fällen, in denen auch der

aufsteigende Dauerstrom nur Athmungsverlangsamung gibt, sind auch mit dem unterbrochenen nur kürzere exspiratorische Athempausen zu erzielen (vgl. Fig. 26a und b).

Es muss aber bemerkt werden, dass diese unzweideutigen exspiratorischen Erfolge nur dann mit Sicherheit zu erzielen sind, wenn das Thier gut betäubt ist. Dann ist auch Unterbrechungsfrequenz wie Contaktdauer ohne ersichtlichen Einfluss auf die Wirkung. Nicht so bei ungenügender Narkose. Hier verhält sich der Athmungsapparat dem aufsteigenden unterbrochenen Strome gegenüber nicht selten ebenso wie gegenüber dem absteigenden, und das Resultat der Reizung ist inspiratorischer Stillstand. Es ist bemerkenswerth, dass derselbe hier eintritt, obwohl bei demselben Thier der aufsteigende Dauerstrom bei gleicher Stromstärke die gewohnte hemmende Wirkung zeigt und die Oeffnung desselben durchaus nicht von auffallenden inspiratorischen Wirkungen begleitet ist (Fig. 27a). Das nicht betäubte Thier scheint also besonders empfindlich gegen den tetanisierenden, durch Summation inspiratorisch wirksam werdenden Reiz zu sein[1]).

Zur Erläuterung des Gesagten diene Fig. 27, in der unter Anwendung von 2 kleinen Tauchelementen bei a mit dem aufsteigenden Dauerstrom, bei b mit dem aufsteigenden unterbrochenen, bei c mit dem absteigenden unterbrochenen Strom gereizt wurde. Der

---

1) Es muss dahingestellt bleiben, ob hier das inspiratorisch wirkende tetanisirende Moment gegeben ist, durch die ja auch als Einzelreize schwach erregend wirkenden Oeffnungen des Stromes, oder ob bei hoch erregbaren Thieren auch wiederholte Schliessungen des aufsteigenden Stromes eben durch ihre Wiederholung unter Umständen entgegen ihrer Einzelwirkung inspiratorisch wirksam werden können. Man könnte daran denken, diese Frage dadurch zu entscheiden, dass man den Nerv mit rhythmischen Strömen von sehr kurzer Schliessungsdauer reizte. Bekanntlich hat König festgestellt, dass bei solchen die Oeffnungserregungen völlig fortfallen. Indessen haben uns in dieser Richtung am Froschpräparat angestellte Versuche wahrscheinlich gemacht, dass hierbei die einzeln unwirksamen Stromesöffnungen bei schneller und häufiger Wiederholung wirksam werden können. Auch eine Abschwächung der Stromstärke bis zum Versagen der Oeffnungszuckungen dürfte aus ähnlichen Gründen nichts helfen, zumal da selbst bei schwächsten aufsteigenden Einzelströmen die inspiratorischen Oeffnungswirkungen nicht immer versagen. Eine Reizung des Vagus mit einer Folge von isolirten Schliessungen eines aufsteigenden Stromes hat sich deshalb bisher nicht ermöglichen lassen.

inspiratorische Stillstand ist allerdings bei c vollkommener als beim aufsteigenden Strome (b); doch ist er auch bei letzterem nicht zu verkennen.

Verstärkt man bei einem Thiere, das solche Erscheinungen zeigt, die Narkose — sie braucht aber nicht bis zum völligen Verschwinden des Hornhautreflexes zu gehen — so tritt, während der absteigende unterbrochene Strom seine inspiratorische Wirkung bewahrt, nunmehr beim aufsteigenden der typische exspiratorische Stillstand ein. Fig. 25 entstammt demselben Kaninchen, das bei sehr unvollständiger Betäubung die in Fig. 27 wiedergegebenen Aufzeichnungen geliefert hatte; von demselben Thiere wurde zu derselben Zeit, wie Fig. 25, also nach Eintritt der Narkose, mittelst des absteigenden unterbrochenen Stromes Fig. 28 gewonnen.

In den meisten, wenn nicht in allen, Fällen scheint es aber auch bei ungenügender Betäubung möglich zu sein, ganz präcise wie durch den absteigenden unterbrochenen Strom Inspirations-, so durch den aufsteigenden unterbrochenen Strom Exspirationsstillstand zu erzeugen, wenn man seine Aufmerksamkeit nur der Unterbrechungszahl und der Kontaktdauer zuwendet. Je geringer man nämlich die erstere, und je grösser man die letztere nimmt, desto leichter gelingt es, je nach der Stromesrichtung die hemmende und die erregende Wirkung des unterbrochenen Stromes zu demonstriren. Eine genauere Ermittelung der optimalen Werthe für diese Grössen haben wir nicht gemacht. Doch scheint bei höchstens 6—12 Unterbrechungen in der Sekunde und bei einer Kontaktdauer von mindestens 0,05 Sec. der Erfolg sicher einzutreten. Offenbar reicht bei dieser Anordnung die Unterbrechungszahl aus, um beim absteigenden Strome die Summation zu stande kommen zu lassen, die für den inspiratorischen Erfolg Bedingung ist, während bei aufsteigender Richtung das eben in der Unterbrechung liegende inspiratorisch wirksame Moment hier nicht im Stande ist, den hemmenden Einfluss der relativ langen Stromschlüsse zu besiegen.

Bei gut betäubten Thieren hat man, wie gesagt, diese Gegenwirkungen nicht zu befürchten, und mit der Sicherheit eines physikalischen Experimentes kann man hierdurch einfaches Umlegen der Pohl'schen Wippe nach Belieben die Athmung in inspiratorischen oder in exspi-

ratorischen Stillstand versetzen. Ich gebe hier einige Aufzeichnungen wieder, die geeignet sein dürften, diese Behauptung zu beweisen. In dem Fig. 29 dargestellten Versuche war bei Benutzung von 2 Tauchelementen die Unterbrechungszahl = 12 p. Sec., die jedesmalige Kontaktdauer betrug etwa 0,01 Sec. In Fig. 30 ist die Unterbrechungsfrequenz = 6—7 p. Sec., die Schliessungsdauer jedesmal mindestens = $^5/_6$ jeder ganzen Periode, also = 0,12 —0,14 Sec.

In beiden, von verschiedenen Thieren gewonnenen Aufzeichnungen sind die je nach der Stromesrichtung eintretenden in- und exspiratorischen Athmungsstillstände überaus deutlich.

Fig. 31 endlich gebe ein Beispiel eines Versuches, bei dem die exspiratorische Wirkung des aufsteigenden Stromes nur in einer exspiratorischen Verlangsamung, die inspiratorische des absteigenden Stromes nur in einer inspiratorischen Beschleunigung bestand.

Sehr anschauliche Bilder liefert ein dem oben geschilderten Alternativeversuch ähnliches Verfahren. Während der Reizung wirft man, ohne den Quecksilberschlüssel zu öffnen, die stromwechselnde Wippe um, so dass der aufsteigende unterbrochene Strom in einen absteigenden verwandelt wird, und umgekehrt. Man kann diesen Wechsel öfters hintereinander vornehmen und so Aufzeichnungen erhalten, in denen inspiratorische von exspiratorischen Stillständen unmittelbar abgelöst werden (s. Figg. 32 und 33).

Wir haben bei der Besprechung der absteigenden unterbrochenen Ströme erwähnt, dass hier nach der vom Inspirationskrampf gefolgten Reizung sich oft eine Nachwirkung geltend macht, die ebenfalls inspiratorischen Charakter trägt. Auch bei aufsteigenden unterbrochenen Strömen folgt nach Beendigung der Reizung dem exspiratorischen Stillstand zuweilen ein Nachspiel. Es ist bemerkenswerth, dass auch diese Nachwirkung in Gestalt eines längeren inspiratorischen Athmungsstillstandes auftritt. Wir möchten in ihm nicht eine blosse Oeffnungswirkung, sondern einen Beweis dafür sehen, dass in der That dieser Art der Reizung neben dem hemmenden ein erregendes Moment innewohnt, das während der Dauer der Reizung durch das Uebergewicht des erstern zurückgedrängt wird, nach der Oeffnung des Stromkreises sich aber geltend macht.

Zum Schluss sei noch darauf hingewiesen, dass man, ganz im Gegensatz zu dem, was wir bei konstanten Strömen kennen gelernt haben, bei unterbrochenen die exspiratorische Wirksamkeit aufstei-

gend gerichteter Ströme minder kräftig findet, als die inspiratorische der absteigenden. Nach dem Vorangehenden wird man dies begreiflich finden. In deutlichster Weise kommt dieses Verhalten dann zum Ausdruck, wenn man an jeden der beiden Vagi eine Elektrode anlegt unh so den einen aufsteigend, den andern absteigend durchströmen lässt. Während der Dauerstrom bei dieser Anordnung immer exspiratorischen Stillstand herbeiführte, tritt hier stets inspiratorischer auf, wie auch die richtungswechselnde Wippe liegen möge.

Schluss.

Die Schlussfolgerungen, die aus den im Vorangehenden mitgetheilten Versuchen für die physiologische Praxis erwachsen, ergeben sich von selbst. Es ist zwar unter gewissen Einschränkungen ganz richtig, dass es, wie Schiff (19) hervorhebt, für die Kenntniss der physiologischen Thätigkeit das Lungenvagus nicht ausreicht, zu wissen, unter welchen künstlichen Bedingungen die Reize auf die hypothetischen hemmenden, unter welchen sie auf die inspiratorischen Fasern des Nerven wirken; doch halten wir es nicht für nutzlos, wenn man einmal scharf die Bedingungen präcisirt, unter denen die eine oder die andere Wirkung mit Sicherheit erzielt werden kann. Schon im Interesse der Vorlesungsversuche ist eine solche Präcision zu wünschen; denn selbst die eingehendsten theoretischen Auseinandersetzungen über die hemmende und erregende Wirkung der respiratorischen Vagusfasern werden den Zuhörer nicht zu überzeugen vermögen, wenn, wie das oft der Fall ist, der Experimentator ihm nur die eine oder die andere Wirkung zu zeigen vermag, ohne den Grund angeben zu können, warum es sich so verhält. Nun sind freilich schon viele vor uns bestrebt gewesen, die hier obwaltenden Bedingungen festzustellen; wir glauben aber durch unsere Versuchsweise in der Feststellung derselben ein gutes Stück weiter gelangt zu sein, als unsere Vorgänger. Unsere Beobachtungen lassen sich dahin zu sammen fassen:

I. Es gelingt sicher, exspiratorische (hemmende) Wirkungen (Stillstand der Athmung in Exspiration oder Verlangsamung des Athmungsrhythmus zu erhalten

1. durch Schliessung aufsteigender Dauerströme,

2. bei gut betäubten Thieren durch unterbrochene Kettenströme aufsteigender Richtung. Letztere Wirkung wird erleichtert und auch bei schlecht narkotisirten Thieren ermöglicht, wenn man die Unterbrechungszahl klein, die jedesmalige Schliessungsdauer lang wählt.

II. Es gelingt, inspiratorische (erregende) Wirkungen (Stillstand der Athmung in Inspiration oder Athmungsbeschleunigung),

1. sicher durch absteigende unterbrochene Kettenströme,
2. nicht mit Sicherheit, aber doch häufig durch Schliessung absteigender Dauerströme zu erhalten.

Aus diesen Angaben folgt, dass man, um beide Wirkungen zu demonstriren, am besten thun wird, an einem mässig durch Chloralhydrat betäubten Kaninchen durch den Vagus einen (etwa 10mal in der Sekunde) unterbrochenen, von 1—2 Elementen gelieferten Kettenstrom so hindurchzuschicken, dass er das eine Mal den Nerven in aufsteigender, das andere Mal in absteigender Richtung durchströmt. Die letztgenannte Stromrichtung wird ihre inspiratorische Wirkung nie versagen; versagt die erstere, so kann man die verlangte exspiratorische Wirkung allemal demonstriren, wenn man denselben Strom dauernd schliesst.

Unsere Beobachtungen dürften ausserdem nicht ohne Werth sein für die Kenntniss der Eigenschaften des dem Athmungsapparat vorstehenden Centralorgans. Wir verweisen in Bezug auf die Vorstellungen, zu denen in dieser Richtung unsere Versuche Anlass geben, auf die zum Theil etwas vorgreifenden Ausführungen des zweiten Abschnittes.

Litteratur.

Die ältere Literatur der Vagusreizung findet sich bei J. Rosenthal, Die Athembewegungen und ihre Beziehungen zum Nervus vagus. Berlin 1862. S. 21—36.

Die wichtigsten der neueren Autoren sind angeführt in Rosenthal's späteren Arbeiten: Neue Studien über Athembewegungen. Zweiter Artikel. Archiv f. Anat. u. Physiol. (Physiolog. Abtheilung), 1881, S, 50 und in desselben Autors: Physiologie der Athembewegungen und der Innervation

derselben; in Hermann's Handbuch der Physiologie. Bd. IV. Theil 2. S. 254 Leipzig 1882.

Eine vollständige Zusammenstellung der seither erschienenen Arbeiten steht noch aus.

1) P. Bert, Leçons sur la physiologie comparée de la respiration. Paris 1870, p. 480 et p. 492.
2) S. J. Meltzer, Vagus und Geschlecht. Centralbl. f. d. med. Wissenschaft. 1882. Nr. 28.
3) J. Wagner, Beiträge zur Kenntniss der respiratorischen Leistungen des Nervus vagus. Sitzber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien. III. Abth. Juli 1879. Bd. 80. S. 1.
   L. Fredericq, Sur la théorie de l'innervation respiratoire. Bruxelles 1879. (Bull. de l'Acad. roy. de Belgique (2) t. 47. p. 24.)
   A. Christiani, Monatsbericht d. Berl. Akad. d. Wissenschaft. Februar 1881. S. 222.
   O. Langendorff, Studien über die Innervation der Athembewegungen. 5. Mittheilung. Arch. f. Anat. u. Physiol. (Physiol. Abth.) 1881. S. 526.
4) L. Fredericq, Excitation du pneumogastrique chez le lapin empoisonné par CO_2. Travaux du Laboratoire. T. I. Gand 1886. p. 1.
5) S. J. Meltzer, Die athemhemmenden und -anregenden Nervenfasern innerhalb des Vagus in ihren Beziehungen zu einander und zum Athemmechanismus. Arch. f. Anat. u. Physiolog. (Phys. Abth.) 1892. S. 360.
6) F. Kauders, Ueber den Einfluss der elektrischen Reizung der nervi vagi auf die Athmung. Dieses Archiv, Bd. 57, S. 333.
7) O. Langendorff, Der Einfluss des Nervus vagus und der sensiblen Nerven auf die Athmung. v. Wittich's Mittheilungen des Königsberger Physiologischen Laboratoriums. S. 22 des Sonderabdruckes. 1878.
8) P. Grützner, Ueber verschiedene Arten der Nervenerregung. III. Dieses Archiv, Bd. 17, S. 250. 1878.
   Derselbe, Ueber die chemische Reizung sensibler Nerven. Dieses Archiv, Bd. 58, S. 98.
9) J. Gad, Die Regulirung der normalen Athmung. Arch. f. Anat. u. Physiolog. (Physiol. Abth.) 1880. S. 11.
10) Ph. Knoll, Beiträge zur Lehre von der Athmungsinnervation. II. Mittheilung. Sitzber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien, III. Abth. Juliheft 1892. Bd. 86. S. 60.
11) E. Wertheimer, De l'action de quelques excitants chimiques sur les nerfs sensibles. Archives de Physiol. (5), t. II. 1890. p. 796.
12) P. Grützner in diesem Archiv. 1878. Bd. 17. S. 238.
13) Ph. Knoll, Beiträge zur Lehre von der Athmungsinnervation. I. Mittheilung. Sitzber. d. k. Akad. d. Wissensch. in Wien. (III. Abth.) 1882. Bd. 85. S. 282.
14) Ph. Knoll, s. 10. S. 51.

15) Ph. Knoll, Beiträge u. s. w. III. Mitth. Wien. akad. Sitzber. 1882. 86. Bd. S. 114.

16) M. Schiff, Le nerf laryngé est-il un nerf suspensif? Compt. rend. de l'Acad. des Sciences. 1861. t. 53. Wieder abgedruckt in seinen Gesammelten Beiträgen zur Physiologie. Bd. I. Lausanne 1894. S. 85.

17) O. Langendorff, s. 7. S. 10.

18) B. Naunyn, Ueber die Auslösung der Schmerzempfindung durch Summation sich zeitlich folgender sensibler Erregungen. Arch. f. exper. Pathol. u. Pharmakol. Bd. 25. 1889. S. 1.

19) M. Schiff, Neuerer Zusatz zu der unter 16 angeführten Abhandlung. S. 99.

Erklärung der Abbildungen auf Tafel II und III.

Alle Zeichnungen sind von links nach rechts zu lesen. Die Zeitmarken bedeuten Sekunden.

Fig. 1. Einschleichen des Vagus in die Kette. ↑ Strom. 1 Daniell. Pinselelektroden. Kompensatordraht. Bei S Schliessung, bei Oe Oeffnung des Stromes. Das Vorrücken des Schiebers beginnt bei a, endet bei b. Bei Beginn der Verlangsamung steht er bei 300 mm.

Fig. 2 und 3. Aufsteigende Kettenströme. 2 Tauchelemente. Die beiden Aufzeichnungen stammen von 2 verschiedenen Thieren.

Fig. 4 und 5. Elektrische Pincette am Vagus (Richtung ↑).

Fig. 6. a Rheochordwiderstand in der Nebenschliessung = 10 mm Platindraht. b Rh. = 20 mm. Draht.

Fig. 7. Aufsteigender Strom. Die Schliessung überdauernde Verlangsamung der Athmung.

Fig. 8. Oeffnungswirkung des ↑ Stromes. 2 Tauchelemente.

Fig. 9. Oeffnungswirkung des ↑ Stromes. 8 Tauchelemente.

Fig. 10. Inspiratorische Wirkung absteigender Ströme. 8 Tauchelemente.

Fig. 11. Wirkung des absteigenden (a) und des aufsteigenden (b) Stromes. 1 Daniell.

Fig. 12. Absteigender Strom. 2 Tauchelemente.

Fig. 13. Absteigender Strom. 3 Tauchelemente.

Fig. 14. Absteigender Strom. 8 Tauchelemente. Rheochord von du Bois-Reymond im Nebenkreise. Rheochordschieber in den drei Einzelversuchen auf 100, 75 und 50 cm gestellt. Die Stöpselwiderstände sämmtlich ausgeschaltet.

Fig. 15. Mehrmaliger Wechsel der Stromesrichtung. Die Pfeile geben darüber Auskunft, an welchen Stellen die Wippe umgelegt wird. Strom durch 1 Daniell geliefert. Am Vagus nur eine Elektrode, die andere liegt auf der Bauchhaut.

Fig. 17. Absteigender Strom. 1 Tauchelement. 20 Unterbrechungen p. Sec.

Fig. 18. Absteigender unterbrochener Strom. 2 Elemente.

Fig. 19. Inspiratorische Beschleunigung (unvollständiger Inspirationskrampf) beim absteigenden unterbrochenen Strom.

Fig. 20. Absteigender, durch den in der Nebenschliessung befindlichen Wagner'schen Hammer unterbrochenen Strom. Ein Element.

Fig. 21 und 22. Inspiratorische Nachwirkungen bei Oeffnung des absteigenden unterbrochenen Stromes. In beiden Fällen 1 Tauchelement im Kreise.

Fig. 23. Absteigender Strom. 2 Tauchelemente. 10 Unterbrechungen p. Sec. Dauer jedes Kontaktes = 0,05 Sec.

Fig. 24 und 25. Aufsteigender unterbrochener Strom, 2 Elemente; bei Fig. 25 ist die Unterbrechungszahl = 12 p. Sec., Kontaktdauer = Oeffnungsdauer.

Fig. 26. Bei a Reizung des Vagus mit dem konstanten, bei b mit dem unterbrochenen aufsteigenden Kettenstrom. 2 Elemente.

Fig. 27. 2 Elemente. Bei a Reizung mit ↑ Dauerstrom, bei b mit ↑ unterbrochenem, bei c mit ↓ unterbrochenem Strom. Sehr unvollständige Narkose.

Fig. 28. Derselbe Versuch wie Fig. 27. Absteigender unterbrochener Strom nach Eintritt guter Betäubung.

Fig. 29. Reizung bei a und c mit aufsteigenden, bei b mit absteigenden unterbrochenen Strömen.

Fig. 30. Reizung mit ↑ und ↓ unterbrochenem Strom. 1 Daniell. Die oberste Reihe markirt Sekunden, die zweite die Unterbrechungszahl. Vollständiger exspiratorischer und inspiratorischer Stillstand.

Fig. 31. Unterbrochener ↑ und ↓ Strom. 1 Daniell. Exspiratorische Verlangsamung und inspiratorische Beschleunigung.

Fig. 32 und 33. 2 Tauchelemente. Ohne Oeffnung des Reizkreises werden abwechselnd ↓ und ↑ unterbrochene Ströme durch den Vagus geschickt. Die erzielten bald in- bald expiratorischen Athmungsstillstände sind meistens nicht absolut.

Fig. 34. Aufsteigender unterbrochener Strom. Exspiratorischer Stillstand während der Dauer, inspiratorischer nach Beendigung der Reizung. Unterbrechungszahl = 10 p. Sec., Kontaktdauer = 0,05 Sec.

(Aus den chem. Laborat. der path. Institute zu Berlin und Halle a. d. S.)

Ueber das Verhalten des Phosphors im Casein bei der Pepsinverdauung.

Von

Prof. **E. Salkowski** und Dr. **Martin Hahn.**

Der Phosphorgehalt des Caseins und sein Verhalten zum Magensaft ist wiederholt Gegenstand der Untersuchung gewesen.

Lubavin[1]) hat wohl zuerst beobachtet, dass bei der Verdauung des Caseins durch Magensaft ein phosphorhaltiger Rückstand bleibt — den Phosphorgehalt des in Natriumcarbonat löslichen Antheils desselben fand er zu 4,6 % — und daraus den Schluss gezogen, dass das Casein in analoger Weise zusammengesetzt sei, wie das Hämoglobin und Vitellin, insofern die Eiweisssubstanz in demselben mit einem zweiten, in diesem Falle phosphorhaltigen, Körper verbunden sei.

Später hat dann Hammarsten[2]) nachgewiesen, dass das Casein einen constanten Gehalt an Phosphor besitzt = 0,85 % und die Abspaltung von Nuclein oder, wie wir heute sagen, Paranuclein aus demselben bei der Magenverdauung bestätigt. Von einem etwaigen Phosphorgehalt der löslichen Verdauungsproducte ist, soweit wir aus der Literatur ersehen können, nirgends die Rede, weder in den älteren Arbeiten, noch in denen von Thierfelder[3]), Chittenden und Painter[4]) und Chittenden[5]), wiewohl namentlich in den letzteren Arbeiten zahlreiche Elementaranalysen der löslichen Verdauungsproducte ausgeführt sind. Danach konnte es wohl scheinen, dass die löslichen Verdauungsproducte phosphorfrei seien. Im Einklang

---

1) Tübinger med.-chemische Unters. S. 462.

2) Ladenburg's Handwörterbuch der Chemie III. S. 567.

3) Zeitschrift für physiol. Chem. X. S. 577.

4) Studies from the laboratory of physiolog. chemistry Yale University II. S. 156.

5) Ebendas. III. S. 66.

damit heisst es auch in dem Handbuch von Hoppe-Seyler und Thierfelder[1]): „Bei der Verdauung des Caseins mit Magensaft bleibt der ganze Phosphorgehalt in der reichlichen ungelösten Substanz, welche von L. Liebermann als metaphosphorsaure Verbindung eines Eiweisskörpers betrachtet wird.“

Hoppe-Seyler und Thierfelder geben damit der allgemein herrschenden Ansicht Ausdruck. Eine abweichende Angabe findet sich nur bei Szontagh[2]). S. untersuchte, wieviel Nuclein sich aus dem Casein bei der Pepsinverdauung abspalte und fand im Mittel von 8 Bestimmungen 9,5 %, jedoch mit grossen Schwankungen von 7,3 % bis 12,37 %. Vf. „lässt es dahingestellt[3]), ob der Nucleingehalt des Kuhmilchcaseins ein schwankender ist, denn es ist möglich, dass bei der Digestion des Caseins nicht das ganze Albumin in Pepton umgewandelt wurde und dass während der Digestion das Nuclein selbst zerfällt und[4]) sich verringert. Aus diesem Grunde hat Vf. die von ihm gewonnenen Nucleine einer abermaligen Digestion unterworfen. Die Verluste, welche sich auf diese Weise an Nuclein ergaben, waren beträchtlich, d. h. der Verlust betrug im Durchschnitt 50 %. Vf. nimmt auf Grund dieser Beobachtung an, dass sich das Nuclein während der Digestion zersetzt; es fiel ihm nämlich auf, dass er nach der zweiten Digestion im Filtrate Phosphorsäurereaction bekam, welche aller Wahrscheinlichkeit nach ihren Ursprung der Zersetzung von Nuclein verdankt.“ Diese Beobachtung steht vereinzelt da und wir können sie, was die Art der Bindung des Phosphors in der erhaltenen Verdauungslösung betrifft, auch nicht anerkennen, wie später besprochen werden soll.

---

1) Hoppe-Seyler, Handbuch der physiol.-chem. Analyse. VI. Aufl. S. 258.

2) Ungar. Arch. der Medic. I. S. 192.

3) Citirt nach Maly's Jahresber. für 1892. S. 169.

4) Nach unserem Dafürhalten sollte hier nicht „und“ stehen, sondern „oder“. Denn es gibt offenbar 2 Möglichkeiten zur Erklärung der von Szontagh gemachten Beobachtung. Wenn die Quantität des bei der Verdauung von Casein bleibenden Rückstandes verschieden ausfällt, so kann das entweder davon herrühren, dass derselbe bald Nuclein bald ein Gemisch von Nuclein und nicht verdautem Eiweiss ist oder davon, dass das Nuclein selbst der Verdauung unterliegt und in den Versuchen bald mehr bald weniger davon weiter verdaut war.

Im Widerspruch mit den allgemeinen Angaben hat der Eine von uns (E. S.) früher schon wiederholt bei gelegentlichen Verdauungsversuchen mit Casein Paranuclein immer nur in sehr geringer Menge erhalten, später auch constatirt, dass das aus dem Casein erhaltene lösliche Verdauungsproduct stets phosphorhaltig ist[1]). Wir haben diese Untersuchungen gemeinschaftlich fortgeführt und berichten im Folgenden über die erhaltenen Resultate.

I. Die Vertheilung des Phosphors in den Producten der Verdauung des Caseins

Versuch I.

Zu demselben diente ein trocknes Caseinpräparat, dessen Asche und Phosphorgehalt schon früher bestimmt war[2]). Der Aschegehalt betrug nur 0,17 %. — 1 g dieses Präparates wurde mit 150 ccm Pepsinsalzsäure[3]) 6 Tage bei 40° digerirt. Die Lösung nach dieser Zeit von vereinzelten ungelösten Bröckchen abfiltrirt, mit Natriumcarbonat in der Hitze neutralisirt, eingedampft, mit Ammoniak alkalisirt: keine Trübung, dann noch Magnesiamischung hinzugefügt und 48 Stunden stehen gelassen: ganz minimale, kaum sichtbare Ausscheidung. Das Filtrat eingedampft, mit Soda und Salpeter geschmolzen, die Schmelze in Wasser und Salpetersäure gelöst, mit Ammoniak und Magnesiamischung versetzt: reichliche Ausscheidung von Ammonmagnesiumphosphat.

Auch bei so lange Zeit fortgesetzter Digestion und relativ beträchtlicher Quantität Pepsinsalzsäure enthielt die Verdauungslösung also keine Phosphorsäure, wohl aber Phosphor durch Schmelzen mit Salpeter nachweisbar.

---

1) Centralbl. f. d. m. W. 1893, Nr. 23, 28.

2) Virchow's Arch. Bd. 131, S. 318.

3) Die Pepsinsalzsäure ist, wenn nichts anderes angegeben, stets in folgender Weise dargestellt. 2 g Pepsin-Finzelberg (sog. 100%iges, schwächeres Präparat) bis zum Verschwinden der Milchzuckerreaction gewaschen und mit möglichst wenig Wasser in einen Kolben gespült. Andererseits 10 ccm Salzsäure von 1,124 D mit 990 ccm Wasser gemischt „Verdauungssalzsäure". Das Pepsin wird mit etwa 300 ccm Verdauungssalzsäure übergossen bis zum nächsten Tage bei Zimmertemperatur stehen gelassen, filtrirt; hierzu der Rest des 1 Liter Verdauungssalzsäure hinzugesetzt.

Der Versuch wurde in derselben Weise mehrmals wiederholt, stets mit demselben Erfolg.

Versuch II.

Zu diesem Versuch diente feuchtes, aus Milch frisch dargestelltes, durch wiederholtes Auflösen gut gereinigtes, fast aschefreies Casein, das jedoch, wie sich später ergab, noch etwas Fett enthielt.

1,7556 g desselben hinterliessen 0,5156 g Trockenrückstand, wovon 0,0016 g unverbrennlich. Der organische Trockenrückstand betrug somit 0,514 g = 29,28 %.

Zum Verdauungsversuch wurden 9,888 g feuchtes Casein, entsprechend 2,896 aschefreiem Trockenrückstand, am 30. 4. 93 mit 200 ccm Pepsinsalzsäure (entsprechend 0,4 g Pepsin) versetzt und bis zum 5. 5. bei 40° digerirt, dann durch ein gewogenes Filter filtrirt. Die Filtration ging der gelatinösen Beschaffenheit des Niederschlages wegen äusserst langsam vor sich; es wurde so lange mit Wasser gewaschen, bis das Filtrat absolut frei war von Salzsäure, dann einige Mal mit Alkohol absolut, und längere Zeit mit Aether, der Aetherauszug verdunstet. Es hinterblieb 0,0488 Fett. Diese Quantität ist von der in Anwendung gebrachten aschefreien Trockensubstanz in Abzug zu bringen. Somit beträgt die Quantität des angewendeten Reincaseins 2,8472 g.

Der bei der Verdauung unlöslich gebliebene Rückstand = Paranuclein betrug 0,1944 g, somit sind in Lösung gegangen 2,8472—0,1944 = 2,6528 g Zur Bestimmung des Phosphors[1]) im Paranuclein dienten 0,1804 g. Hieraus wurde erhalten 0,0156 $Mg_2P_2O_7$ = 0,004361 P = 2,41 %; also im ganzen ungelösten Rückstand sind enthalten 0,0047 g P. In der angewendeten Quantität Casein sind enthalten $2{,}8472 \times \frac{0{,}85}{100} = 0{,}0242$ P. Davon sind im Paranuclein enthalten 0,0047, also in den Albumosen 0,0195 gr.

---

1) Die Bestimmung des Phosphors geschah in der üblichen Weise: Schmelzen der Substanz mit Soda und Salpeter (Gemisch aus 3 Th. KNO_3 und 1 Th. Na_2CO_3), mindestens in 30facher Menge, bei sehr kleiner Quantität Substanz noch mehr, Auflösen der Schmelze in Wasser, Ueberführung der Lösung in einen Kolben, Ansäuern mit Salpetersäure, Kochen zur Austreibung der Kohlensäure und salpetrigen Säure, Eindampfen im Becherglas oder in einer Schale, Fällen mit Ammoniummolybdat, Abfiltriren des Niederschlages am nächsten Tage u. s. w.

Aus diesen Zahlen berechnet sich:

Quantität des Paranucleins: 6,8 %, der Albumosen 93,2 % des Caseins
Phosphorgehalt „ : 2,41 %, der „ 0,74 %

Vom gesammten Phosphor des Caseins sind enthalten in Paranuclein: 19 % [1]), in den Albumosen 71 %.

Zur Controlle wurde das gesammte Filtrat von Paranuclein nebst den Waschwässern mit Natriumcarbonat neutralisirt — dabei entstand kein Niederschlag — eingedampft, auf 100 ccm aufgefüllt, 25 ccm davon zur Phosphorbestimmung genommen. Es wurden erhalten 0,0192 $Mg_2P_2O_7$, also für die ganze Quantität 0,0768 $Mg_2P_2O_7$ = 0,02146 P. Addirt man hierzu die oben gefundenen 0,0047 g, so ergibt sich im Ganzen 0,02616 g, was mit dem oben den Berechnungen zu Grunde gelegten Phosphorgehalt des ganzen Caseins in Anbetracht der Umständlichkeit der einzelnen Bestimmungen hinreichend übereinstimmt.

Der Rest der Verdauungslösung wurde auf Orthophosphorsäure geprüft und erwies sich frei davon.

Versuch III.

Hierzu diente dasselbe Präparat, wie in II, jedoch vorher vollständig durch Alkohol und Aether entfettet.

0,5186 g geben 0,4706 g Trockenrückstand, wovon 0,0022 Asche (= 0,42 %), also 0,4684 = 90,32 % organische Trockensubstanz.

3,959 g = 3,5757 aschefreier Trockenrückstand wurden mit 400 ccm Pepsinsalzsäure bei 40 ° angesetzt, nach 3 tägiger Digestion durch ein gewogenes Filter filtrirt. Die Filtration verläuft ausserordentlich langsam, sodass sie erst nach 3 Tagen beendet ist. Der Rückstand, mit Alkohol und Aether behandelt, dann getrocknet betrug 0,2418 gr = 6,76 %. Somit sind in Lösung gegangen 3,5757 — 0,1418 = 3,3339 g.

Filtrat und Waschwässer wurden unter Neutralisiren mit Natriumcarbonat auf 100 ccm eingedampft, 25 ccm zur P-Bestimmung genommen. Es wurde erhalten 0,026 $Mg_2P_2O_7 \times 4$ = 0,104 $Mg_2P_2O_7$ = 0,02907 P. Das angewandte Casein enthielt, unter Annahme eines P-Gehaltes = 0,85 % 0,03039 P, es würden somit für das Paranuclein nur 0,0013 P übrig bleiben.

Hieraus würde sich berechnen:

---

1) Früher (l. c.) ist dieser Rechnung ein P-Gehalt des Caseins = 0,89 % zu Grunde gelegt worden, ausserdem ein kleiner Fehler begangen: in Folge dessen ist nicht 19 % P im Paranuclein angegeben, sondern nur ca. 15 %.

Quantität des Paranucleins: 6,76 %, der Albumosen: 93,24 %
Phosphorgehalt des „ 0,55 %, „ „ 0,87 %.
Vom Phosphor des Caseins sind enthalten im Paranuclein: 4,3 %, in den Albumosen: 95,7 %.

Augenscheinlich ist die Bestimmung des Phosphors in den löslichen Verdauungsproducten etwas zu hoch ausgefallen, denn ein P-Gehalt des Paranucleins von 0,55 % entbehrt der inneren Wahrscheinlichkeit. Bei den kleinen Grössen, um die es sich hier handelt, haben naturgemäss schon kleine Beobachtungsfehler einen sehr bedeutenden Einfluss auf das Resultat. Es ist allerdings auch an die Möglichkeit zu denken, dass die Annahme von 0,85 % P für das Casein etwas zu niedrig ist.

Jedenfalls folgt aus den vorliegenden Versuchen, dass bei der Pepsinverdauung unter günstigen Bedingungen der bei weitem grösste Theil des Phosphors des Caseins in den löslichen Antheil der Verdauungsproducte übergehen kann.

Es fragt sich nun, ob wir Grund zu der Annahme haben, dass die Caseinverdauung stets in der von uns beobachteten Weise verläuft. Die Möglichkeit, dass dem so sei, ist nicht direct in Abrede zu stellen, da quantitativ durchgeführte Versuche über die Vertheilung des Phosphors in den Verdauungsproducten unseres Wissens nicht vorliegen. Aber schon die von früheren Untersuchern gegebene Beschreibung des äusseren Verlaufes der Verdauung macht es nicht unwahrscheinlich, dass die Vertheilung des Phosphors unter Umständen eine wesentlich andere sein kann. Es wird allgemein angegeben, dass die fast klare Lösung des Caseins in verdünnter Salzsäure ungefähr vor der Concentration der gewöhnlich zu Verdauungsversuchen gebrauchten, sich nach dem Zusatz von Pepsinlösung digerirt, in eine kleisterartige Masse umwandelt. Clara Willdenow[1]) sagt sogar bei der Beschreibung eines Caseinverdauungsversuches:

„Am anderen Morgen war die bei Zimmertemperatur aufbewahrte Salzsäure-Pepsin-Caseinlösung zu einer bläulich-gelblichen Gallerte erstarrt, die beim Neigen des Becherglases am Rande

1) Zur Kenntniss der peptischen Verdauung des Caseins. Inaug.-Dissert. Bern 1893. S. 14.

brüchig wurde und nur eine Spur von Flüssigkeit erkennen liess. Der grösste Theil der Gallerte ging als ein zusammenhängendes Ganze in einen Ballon über."

In unseren Verdauungsgemischen war etwas derartiges nie zu beobachten: Die Verdauungsmischungen enthielten zwar auch nach der Digestion eine gallertige Masse, dieselbe bildete aber doch nur einen Bodensatz in der Flüssigkeit von etwa $^1/_4$ ihres Volumens oder noch weit weniger. Es lag nahe, anzunehmen, dass in unsern Versuchen das anfangs entstandene Paranuclein sofort weiter verdaut sei, sodass wir nie eine irgend reichliche Quantität desselben zu Gesicht bekommen hatten. Die Ursache der Differenz konnte darin liegen, dass bei uns die Bedingungen der Verdauung günstiger waren.

Die Begünstigung der Verdauung konnte liegen: 1. in dem quantitativen Verhältniss zwischen dem Casein und der Flüssigkeitsmenge, d. h. der Pepsinsalzsäure, 2. in der längeren Zeit der Digestion, 3. in der grösseren Wirksamkeit unserer Pepsinsalzsäure an sich.

Es würde zu weit führen, sämmtliche von früheren Forschern beschriebenen Casein-Verdauungsversuche nach allen diesen Richtungen mit den unserigen zu vergleichen. Es genügt, wenn wir dies für einige derselben thun und namentlich bezüglich des Verhältnisses zwischen Casein und Verdauungsflüssigkeit.

In unseren bisher angegebenen Versuchen wurde verhältnissmässig viel Pepsinsalzsäure angewendet. Auf 1 g trocknes Reincasein kam in Versuch I 150 ccm Flüssigkeit, in Versuch II etwa 68, in Versuch III 112.

Bei Lubavin[1]) wurde in Versuch I 24 g lufttrockenes, frisch dargestelltes Casein mit Pepsinsalzsäure (aus Magenschleimhaut dargestellt) zum dünnen Brei angerührt, die Pepsinsalzsäure dann allerdings mehrmals erneuert. In Versuch II wurden 64 gr frisches Casein = 25 g trocknes mit 1 Liter Verdauungsflüssigkeit digerirt, was einem Verhältniss von 40 ccm Verdauungsflüssigkeit auf 1 g trockenes Casein entspricht. In Versuch III kamen 32,3 g Casein = 28,3 g Trockensubstanz auf 300 ccm Pepsinsalzsäure. Das Verhältniss zwischen Casein und Pepsinsalzsäure betrug also etwa 1 : 10,6. Hier blieb allerdings der grösste Theil des Caseins un-

1) Tübinger med.-chem. Unters. S. 462.

gelöst. In Versuch IV wurden angewendet 189 gr lufttrocknes Casein auf 2 Liter Verdauungssalzsäure.

Die Versuche von Thierfelder[1]) sind nach dieser Richtung nicht zu verwerthen. Bei der Beschreibung des Versuches mit Casein eigener Darstellung heisst es nur, dass das Casein aus grossen Mengen Milch hergestellt war und die Pepsinsalzsäure aus mehreren Schweinemagen. Ebenso findet sich bei den mit käuflichem Casein angestellten Versuchen keine Angabe über die Quantität des Caseins und der Pepsinsalzsäure.

Chittenden und Painter[2]) digerirten in Versuch I 1300 g feuchtes Casein mit 5600 ccm Pepsinsalzsäure, in Versuch II 750 g feuchtes Casein mit 4800 ccm Pepsinsalzsäure, in Versuch III kamen 750 g feuchtes Casein auf 6 Liter, in Versuch IV gar 2 Kilo feuchtes Casein auf 6 Liter Verdauungsflüssigkeit.

Aehnlich sind die Verhältnisse in späteren Versuchsreihen von Chittenden[3]).

Endlich bei dem letzten Autor — Clara Willdenow — kamen in Versuch II 50 gr lufttrocknes Casein auf 543 ccm Verdauungsflüssigkeit, in Versuch III 200 gr lufttrocknes Casein auf 3 Liter Verdauungsflüssigkeit.

Wenn auch eine genaue Berechnung des in diesen Versuchen eingehaltenen Verhältnisses zwischen Reincasein (trocken) und Pepsinsalzsäure nicht möglich ist, so geht doch jedenfalls aus denselben hervor, dass mit wenigen Ausnahmen relativ weit geringere Quantitäten Pepsinsalzsäure angewendet wurden, als bei uns.

Was die Zeit der Digestion betrifft, so hat Lubavin sehr lange — 9—11 Tage — Thierfelder 50—60 Stunden digerirt, jedoch sind die Versuche nach dieser Richtung hin nicht vergleichbar, weil bei Lubavin die Digestion im Allgemeinen bei Zimmertemperatur und nur zeitweise bei Brutwärme stattfand, bei Thierfelder die Temperatur tagüber 50° betrug, in der Nacht auf 25° sank, Versuch II desselben dauerte mehrere Tage bei 40—50°. Chittenden und seine Schüler haben nur sehr kurze Zeit digerirt, meistens nicht einmal 24 Stunden.

---

1) Zeitschr. f. physiol. Chem. X. S. 577.

2) Studies from the laboratory of physiological chemistry Yale University. II. S. 156.

3) Ebendas. III. S. 66.

Bezüglich der Wirksamkeit der Pepsinsalzsäure an sich endlich ist es schwer, zu einem bestimmten Urtheil zu kommen. Unsere Pepsinsalzsäure ist nach hundertfältig gemachten Erfahrungen sehr wirksam, die einfachen Auszüge aus Magenschleimhaut, welche Lubavin und Thierfelder angewendet haben, stehen nach unseren Erfahrungen im Allgemeinen den Pepsinlösungen an Wirksamkeit sehr nach. Wir vermuthen also, dass wenigstens in den älteren Versuchen die Ursache für den von unseren Beobachtungen abweichenden Verlauf der Verdauung des Caseins in der geringeren Wirksamkeit des künstlichen Magensaftes zu suchen sei.

Jedenfalls schien es uns angezeigt, noch Versuche unter ungünstigeren Verhältnissen anzustellen, bei denen relativ weniger Pepsinsalzsäure angewendet und kürzere Zeit digerirt wurde.

Versuch IV.

3,0 g aschefreies Casein wurden in 30 ccm Wasser und ca. 3 ccm 2%iger Natronlauge gelöst, dazu 80 ccm Verdauungssalzsäure gegeben und 20 ccm einer salzsauren Pepsinlösung [1]) entsprechend 0,1 gr Pepsin. Auf 1 g Casein kamen somit 0,033 Pepsin. Die leicht opalisirende Lösung wurde 22 Stunden bei 40° digerirt. Es resultirte eine dünnem Stärkekleister gleichende Masse, welche auf 200 ccm aufgefüllt, gut durchgeschüttelt und dann durch ein trockenes Filter filtrirt wurde.

1) 0,7728 gr des angewendeten reinen Caseins hinterliessen beim Trocknen 0,6918 gr, somit waren 2,6862 gr Trockencasein angewendet.

2) 50 ccm des Filtrates = $^1/_4$ des Ganzen geben, eingedampft, mit Soda und Salpeter geschmolzen u. s. w., 0,012 $Mg_2P_2O_7$. Die ganze Quantität also 0,048 $Mg_2P_2O_7$ = 0,013417 P.

3) 50 ccm mit Natriumcarbonat neutralisirt, eingedampft, anhaltend getrocknet, verascht, geben 0,568 g aschefreien Trockenrückstand = 2,272 g für die ganze Quantität. Von der angewendeten 2,6862 g Trockensubstanz waren also 2,272 g gelöst, 0,4142 g als Paranuclein ungelöst geblieben.

Der Phosphorgehalt des Caseins beträgt $2,6862 \times \frac{0,85}{100} = 0,02283$ g, davon entfallen auf den bei der Verdauung gelösten Antheil 0,013417 gr, auf das Paranuclein 0,00941.

Hieraus berechnet sich:

---

1) Betreffs der Herstellung der „salzsauren Pepsinlösung" gelten mutatis mutandis die früher gemachten Bemerkungen.

Quantität des Paranucleins = 18,5 %, der Albumosen[1]) = 81,5 % des Caseins.

Phosphorgehalt des Paranucleins = 2,27 %, der Albumosen = 0,59 %.

Vom Phosphor des Caseins sind enthalten: im Paranuclein 41,2 %, in den Albumosen 58,8 %[2]).

Versuch V.

21,3 g nicht ganz aschefreies Casein wurden in 200 ccm Wasser unter Zusatz von 18 ccm 2%iger Natronlauge gelöst; dazu 800 ccm Verdauungssalzsäure und 90 ccm Pepsinsalzsäure, entsprechend 0,9 gr Pepsin. Auf 1 gr Casein kamen also 0,042 gr Pepsin. Die etwas opake Lösung wurde 22 Stunden bei 40° digerirt, dann die entstandene kleisterartige Masse mit Wasser verdünnt und filtrirt. Die Filtration erfolgte anfangs ziemlich schnell, allmählich aber äusserst langsam, sodass es nothwendig wurde, das Filter zu wechseln. Zu dem Zweck musste der ganze auf dem Filter haftende Niederschlag mit heissem Wasser vom Filter abgespritzt und nach reichlichem Wasserzusatz aufs Neue filtrirt werden. Das Auswaschen mit heissem Wasser wurde so lange fortgesetzt, bis das Waschwasser sich mit Silberlösung nicht mehr trübte. Der ganze auf dem Filter befindliche Rückstand wurde durch wiederholtes Aufgiessen von ammoniakhaltigem Wasser gelöst, dann nachgewaschen. Es resultirte eine hauptsächlich durch Spuren von Fett etwas getrübte Lösung, welche auf 300 ccm aufgefüllt wurde.

---

1) Wir gebrauchen hier der Kürze halber das Wort „Albumosen" an Stelle von: „lösliche Verdauungsproducte des Caseins". Das erscheint in diesem Falle zulässig, weil sowohl die Quantität des Neutralisationsniederschlages als auch des wirklichen Peptons stets nur minimal ist.

2) Bei diesen Berechnungen ist allerdings die Voraussetzung gemacht, dass das Gewicht der löslichen Verdauungsproducte (nach Abzug der Asche des Chlornatriums) plus dem Gewicht des Paranucleins gleich sei dem Gewicht des Trockencaseins. Streng genommen ist dieses nicht ganz richtig. Die Summe der Gewichte ist vermuthlich etwas grösser, als das Gewicht des Caseins, da bei der Peptonisirung wahrscheinlich Wasser in das Molecül aufgenommen wird. Bei der Grösse des Moleculargewichts des Caseins gegenüber dem kleinen Moleculargewicht des Wassers kann dieser Fehler aber nur unerheblich sein.

1) Das angewendete Casein enthielt 11,43% Wasser, 1,14% Asche und 1,08% Fett (0,7084 g verloren 0,081 g beim Trocknen; 0,7426 g gaben 0,0085 g Asche; 2,447 g gaben 0,0264 g Aetherextract), somit 86,35% Rein-Casein. Die angewendeten 21,3 g Casein entsprechen 18,393 g Reincasein.

2) 50 ccm der erhaltenen Paranucleinlösung hinterliessen nach dem Eindampfen und Veraschen 0,0041 g Asche, also die ganze Lösung 0,0246 g Asche.

3) 30 ccm eingedampft und getrocknet gaben 0,3024 g Trockenrückstand, also die ganze Lösung 3,024 g Trockenrückstand, 0,0246 g Asche und 2,994 g Paranuclein[1]). Der Trockenrückstand wurde zur Phosphorbestimmung verwendet. Erhalten 0,0234 $Mg_2P_2O_7$, somit für das ganze Paranuclein 0,0654 g Phosphor. Der P-Gehalt des Caseins beträgt 0,1568 g (18,393×0,85), somit enthalten die Albumosen 0,0909 g P.

Hieraus berechnet sich:

Quantität des Paranucleins 15,2%, der Albumosen 84,8% des Caseins.

Phosphorgehalt des Paranucleins 2,18%, der Albumosen 0,58%.

Vom Phosphor des Caseins sind enthalten: im Paranuclein 41,9%, in den Albumosen 58,1%.

Versuch VI.

30,0 g desselben Caseins, wie im Versuch V = 25,905 g. Rein-Casein wurden in 250 ccm Wasser und ca. 25 ccm 2%iger Natronlauge gelöst, dazu 800 ccm Verdauungssalzsäure (etwas trübe Flüssigkeit) und Pepsinlösung, welche aus 1 g mit Wasser gewaschenen Pepsin-Finzelberg durch 24stündiges Stehenlassen mit 200 ccm Verdauungssalzsäure und Filtriren hergestellt war. Die Mischung wurde 22 Stunden bei 40° digerirt, dann die kleisterähnliche Masse mit Wasser verdünnt und filtrirt, im Uebrigen wie in Versuch V verfahren. Da es nicht gelang, die ganze Quantität des noch nicht ausgewaschenen Paranucleins durch Abspritzen vom Filter zu ent-

1) Auch hierbei musste allerdings wieder eine, vielleicht nicht völlig stichhaltige, Annahme gemacht werden, die Annahme nämlich, dass eine ammoniakalische Paranucleinlösung nach dem Eindampfen und Trocknen des Rückstandes bis zur Gewichtsconstanz nur aus Paracasein besteht. Diese Annahme scheint nicht ganz richtig zu sein; der Rückstand scheint vielmehr etwas Ammoniak fest gebunden zu enthalten.

fernen, so wurden die noch vorhandenen Reste durch ammoniakhaltiges Wasser gelöst, durch Neutralisiren mit Salzsäure das Paranuclein wieder gefällt, abfiltrirt, ausgewaschen und später mit der Hauptquantität vereinigt. Die völlige Reinigung des Paranucleins gelang nur dadurch, dass das vom Filter abgespritzte Paranuclein mit einer reichlichen Quantität Wasser übergossen, das gleiche Volumen 90%igen Alkohol hinzugefügt, aufs Neue filtrirt und mit 40 — 45 %igem Alkohol, schliesslich noch einmal mit Wasser gewaschen, dann in ammoniakhaltigem Wasser gelöst wurde. Es resultirte schliesslich eine etwas trübe ammoniakalische Lösung, welche auf 500 ccm aufgefüllt wurde.

1) 50 ccm der Lösung hinterliessen beim Trocknen 0,5597 g Rückstand wovon 0,0144 g Asche, also 0,5453 g Paranuclein; für die ganze Quantität berechnet sich somit 5,453 g Paranuclein und 20,452 g (25,905—5,453) Albumosen.

2) 50 ccm der Lösung zur Phosphorbestimmung verwendet. Erhalten 0,0410 $Mg_2P_2O_7$, also für die ganze Quantität 0,410 $Mg_2P_2O_7$ = 0,1146 P. Der Phosphorgehalt des angewendeten Caseins beträgt 0,22019 g, somit der P-Gehalt der Albumosen 0,10559 g.

Hieraus berechnet sich:

1. Quantität des Paranucleins 21,05 %, der Albumosen 78,95 % des Caseins.
2. Phosphorgehalt des Paranucleins 2,11 %, der Albumosen 0,51 %.
3. Vom Phosphor des Caseins sind enthalten im Paranuclein 52,5 %, in der Albumose 47,5 %.

Zur bequemeren Uebersicht seien die erhaltenen Resultate noch in nachfolgenden kleinen Tabellen zusammengestellt.

Tabelle I. Das Casein hat bei der Verdauung geliefert:

Nummer des Versuchs	Paranuclein	Albumosen	
II	6,8 %	93,2 %	Günstigere Bedingungen der Verdauung
III	6,76 %	93,24 %	
IV	18,5 %	81,5 %	Ungünstigere Bedingungen
V	15,2 %	84,8 %	
VI	21,05 %	78,95 %	

Tabelle II. Phosphorgehalt der Verdauungsprodukte.

Nummer des Versuchs	Paranuclein	Albumosen	
II	2,41 %	0,74 %	Günstigern Bedingungen der Verdauung
III	0,55(?)%	0,87(?)%	
IV	2,27 %	0,59 %	Ungünstigere Bedingungen
V	2,18 %	0,58 %	
VI	2,11 %	0,51 %	

Tabelle III. Von dem Phosphorgehalt des Caseins sind in den Verdauungsprodukten enthalten in:

Nummer des Versuchs	Paranuclein	Albumosen
II	19,0 %	81 %
III	4,3(?)%	95,7(?)%
IV	41,2 %	58,5 %
V	41,9 %	58,1 %
VI	52,5 %	47,5 %

Nach den Ergebnissen der Versuche IV, V und VI muss die oben aufgeworfene Frage, ob die Vertheilung des Phosphors in den Verdauungsproducten des Caseins unter Umständen nicht eine wesentlich andere sein könne, als wir sie in den ersten Versuchen beobachtet haben, unzweifelhaft bejaht werden.

Es fragt sich nun, wie man nach den neu gewonnen Erfahrungen die Lehre über die Einwirkung des Magensaftes auf das Casein zu formuliren habe. Sicher ist der im Eingang der Arbeit citirte Satz aus Hoppe-Seyler's Handbuch: „Bei der Magenverdauung des Caseins mit Magensaft bleibt der ganze Phosphorgehalt in der reichlichen ungelösten Substanz" nicht mehr zu halten, er muss fallen gelassen werden, da es uns im besten Fall nur gelungen ist, etwa die Hälfte des Phosphors im Paranuclein zu fixiren und auch dieses nur durch Verschlechterung der Versuchsbedingungen.

Sind nun die in den letzten Versuchen IV, V, VI erhaltenen Resultate massgebend für den Verdauungsvorgang im Organismus? Wir glauben das nicht. Der eine von uns (E. S.) hat bei einer

anderen Gelegenheit[1]) ausgeführt, dass ein künstlicher Verdauungsversuch doch immer nur eine sehr dürftige Nachahmung des physiologischen Vorganges ist. Wir werden uns den physiologischen Verhältnissen um so mehr nähern, je günstiger wir die Bedingungen der Verdauung gestalten, um so mehr davon entfernen, je mehr wir diese Bedingungen künstlich verschlechtern. Mit Berücksichtigung dieser Verhältnisse würde man dem Thatbestand etwa folgenden Ausdruck geben können:

„Bei der Verdauung des Caseins durch den Magensaft geht der grössere Theil des Phosphors in die löslichen Verdauungsproducte über, der kleinere Theil bleibt bei den unlöslichen, dem sog. Paranuclein. Je ungünstiger die Verhältnisse der Verdauung sind, desto grösser ist die Quantität des Paranucleins, desto grösser also auch die Quantität des Phosphors, welche auf die unlöslichen Producte entfällt."

Eine andere, lediglich theoretische Frage ist, ob die Verdauung des Caseins so verläuft, dass dasselbe zuerst in phosphorhaltiges Paranuclein und phosphorfreie Albumose gespaltet wird, und erst in Folge eines secundären Vorganges durch Einwirkung der Pepsinsalzsäure auf das Paranuclein Phosphor aus diesem in die Albumose übergeht. Das ist wohl möglich. Es spricht dafür der Einfluss, den die Zeit der Verdauung und der Grad der Wirksamkeit der Pepsinlösung auf die Vertheilung des Phosphors hat, und vor allem auch der Umstand, dass, soweit unsere bis jetzt spärlichen Beobachtungen über den Phosphorgehalt des Paranucleins einen Schluss zulassen, der Phosphorgehalt stets derselbe zu sein scheint, gleichgültig, ob die Quantität des Paranucleins grösser oder kleiner ist. Ob es gelingen wird, diese theoretische Schlussfolgerung durch den Versuch zu beweisen, ist zweifelhaft und wenig wahrscheinlich, da das Casein Molecül für Molecül der Einwirkung der Pepsinsalzsäure unterliegt und das entstandene Paranuclein der weiteren Einwirkung derselben nicht entzogen werden kann. Jedenfalls ist es bisher nicht gelungen, das Casein durch Magensaft glatt zu spalten und darum der Satz, dass das Casein sich in phosphorhaltiges Paranuclein und phosphorfreie Albumose spaltet, auch theo-

1) Virchow's Arch. Bd. 127. S. 503.

retisch nicht zu halten. Wir haben versucht, ob sich diese Spaltung nicht durch Verdauungssalzsäure allein ohne Pepsinzusatz bewirken lasse, allein die Lösungen des Caseins in Verdauungssalzsäure bleiben auch bei wochenlanger Digestion unverändert, eine Ausscheidung von Paranuclein findet nicht statt. Die Spaltung des Caseinmolecüls ist also eine spezifische Wirkung des Pepsins.

II. Ueber die Form des Phosphors in den löslichen Verdauungsproducten.

Vor allem ist hier der Möglichkeit zu gedenken, dass der Phosphor in den löslichen Verdauungsproducten in Form von Orthophosphorsäure vorhanden sei. Dieses ist, wie im Eingang der Mittheilung ausgeführt wurde, in der That von Szontagh behauptet worden, und Sz. hält diese Angaben auch in einer zweiten Mittheilung[1]) aufrecht. Wir haben uns davon nicht überzeugen können.

Wiederholt wurden die bei der Verdauung von reinem Casein erhaltenen Verdauungslösungen auf Orthophosphorsäure geprüft, aber stets höchstens eine minimale Reaction darauf erhalten, welche vielleicht auch von restirenden Spuren von Caliumphosphat herrühren könnten, von denen das Casein nur schwierig zu befreien ist. Selbst bei 6 Tage hindurch fortgesetzter Digestion mit relativ grossen Mengen Pepsinsalzsäure war in den Lösungen keine Orthophosphorsäure nachzuweisen. Eine Erklärung für diese Differenz vermögen wir nicht zu geben.

Es mag hier ein Wort darüber eingeschaltet werden, wie man überhaupt Orthophosphorsäure in den Verdauungslösungen nachweisen soll. Von den gewöhnlich gebrauchten Reagentien ist in diesem Falle nur eins direct anwendbar: die Magnesiamischung.

Das Ammoniummolybdat in salpetersaurer Lösung ist nicht anwendbar, weil es mit Albumose Trübungen resp. Niederschläge gibt, und bei gelindem Erwärmen oder Stehenlassen Gelbfärbung in Folge der Einwirkung der Salpetersäure auf die Albumosen. Der Habitus der Phosphorsäurereaction ist allerdings ein ganz anderer, immer aber die Anwendung des Ammoniummolybdats misslich. Die Uranlösung ist aus demselben Grunde nicht anwend-

1) Centralbl. f. d. m. W. 1893. Nr. 25.

bar: auch sie gibt in essigsaurer Lösung mit Albumosen Trübungen und Niederschläge.

Es bleibt also nur die Magnesiamischung übrig, doch ist auch bei dieser zu beachten, dass die Ausscheidung des Ammoniummagnesiumphosphats langsamer erfolgt, wie aus reinen Lösungen, und oft in abweichenden Formen, welche sich aber durch Auflösen in Salpetersäure und Zusatz von Ammoniak in die gewöhnlichen Formen überführen lassen.

Mit Rücksicht auf die Möglichkeit, dass die Gegenwart von Pepton resp. Albumose der Ausfällung des Ammoniummagnesiumphosphat hinderlich sein könnte, wurden folgende Controllversuche angestellt.

Von einer 10%igen Lösung von käuflichem Albumosenpepton wurden 8 ccm mit abgemessenen Mengen einer Lösung von secundärem Natriumphosphat von bekanntem Gehalt versetzt und durch Zusatz von Ammoniak und Magnesiamischung auf 10 ccm gebracht, nach 24stündigem Stehen untersucht. Zum Vergleich wurden genau entsprechende Lösungen von Natriumphosphat ebenso behandelt.

Die Resultate sind in nachfolgender Tabelle zusammengestellt.

Gehalt an P_2O_5 in Form von Na_2HPO_4	Wässrige Lösung	Peptonlösung
2 : 10,000	deutlicher krystallinischer Niederschlag	deutlicher krystallinischer Niederschlag
1 : 10,000	ebenso	ebenso
2 : 100,000	unbedeutender krystallinischer Niederschlag	mikrokrystallinische Trübung
1 : 100,000	sehr unbedeutender Niederschlag	kaum erkennbare Trübung mit sehr vereinzelten, mikroskopisch sichtbaren Krystallen

Also erst bei einem Gehalt von 2 : 100000 macht sich bei der qualitativen Prüfung eine geringe Differenz bemerkar.

Nach alledem müssen wir bei der Behauptung bleiben, dass Orthophosphorsäure bei der Caseinverdauung nicht in merklicher Menge entsteht. Den weiteren Nachforschungen über die Natur des in den Verdauungslösungen enthaltenen Phosphors wurde nun die Richtung gegeben durch die bei der Darstellung der Verdauungsproducte aus reinem, d. h. calciumphosphatfreien, Casein gemachten Beobachtungen.

Es wurde zunächst in der üblichen Weise die erhaltene Verdauungslösung von dem ausgeschiedenen Paranuclein abfiltrirt, das Filtrat möglichst genau unter Erwärmen mit Natriumcarbonat neutralisirt, und von dem stets minimalen Niederschlag abfiltrirt, zum Syrup eingedampft und mit Alkohol absolutus gefällt: Die so erhaltenen Fällungen erwiesen sich, in der üblichen Weise durch Schmelzen mit Salpeter und Soda untersucht, phosphorhaltig. Ebenso wurden auch die durch Kupfersulfat in den Caseinverdauungslösungen erhaltenen, bis zum Verschwinden der Chlorreaction mit Wasser, dann mit Alkohol und Aether gewaschenen Niederschläge phosphorhaltig gefunden. In geringerem Grade gilt dies auch für die Fällung durch Tannin und durch Quecksilberchlorid und etwas Natriumcarbonat.

Um zu sehen, ob die aus den Lösungen darstellbare Albumose phosphorhaltig ist, wurde eine Verdauungslösung aus Casein in der üblichen Weise mit Ammoniumsulfat gefällt, die Fällung durch Kochen mit Wasser und Baryumcarbonat auf Albumose, das Filtrat ebenso auf Pepton verarbeitet, welches letztere sich übrigens immer nur in minimaler Quantität bildet. Unerwarteter Weise waren beide Präparate fast phosphorfrei. In einem quantitativen Versuch lieferte 0,8309 der Albumose aus Casein nach dem Schmelzen mit Salpeter etc. nur 0,0016 $Mg_2P_2O_7$. Dagegen ergab die Untersuchung der durch Ammoniumsulfat ausgefällten Albumose nachdem sie durch nochmaliges Lösen und Wiederfällung durch Ammoniumsulfat gereinigt war, also vor der Behandlung mit Baryumcarbonat, Phosphorgehalt. Dasselbe gilt für das Pepton, nachdem die Lösung durch wiederholtes Eindampfen und Abtrennen der Mutterlauge von dem auskrystallisirten Ammoniumsulfat von dem grössten Theil des Ammoniumsulfates befreit war.

Somit ist der Phosphor in den Verdauungslösungen in einer durch Ammonsulfat fällbaren Form vorhanden, gehört also entweder dem Molecül der Albumose selbst an oder theilt mit dieser die Fällbarkeit durch Ammoniumsulfat und in einer nicht fällbaren. Weiterhin wird dieser Phosphor durch Behandlung der Albumose in wässriger Lösung mit Baryumcarbonat abgespalten, er ist also in den, der Hauptsache nach aus Baryumsulfat und Baryumcarbonat bestehenden, Rückständen zu suchen.

Um den Unbequemlichkeiten zu entgehen, welche die grossen

Quantitäten von Baryumsulfat und -carbonat mit sich bringen, schien es zweckmässig, die neutralisirten, eingedampften Caseinverdauungslösungen oder auch die Lösungen der Alkoholfällung aus solchen direct mit nicht zu grossen Quantitäten Baryumcarbonat zu kochen — 1 bis 2 Stunden lang — und nicht erst den Umweg der Fällung mit Ammoniumsulfat einzuschlagen. Durch wiederholtes Zurückgiessen gelang es, klare Filtrate zu bekommen, welche sich, in der üblichen Weise untersucht, phosphorfrei erwiesen, das Baryumcarbonat hatte also entphosphornd gewirkt.

Die Untersuchung des grösstentheils aus Baryumcarbonat bestehenden Rückstandes bot unerwartete Schwierigkeiten: es erwies sich nämlich als ungemein schwierig, den Rückstand ganz frei von anhängender organischer Substanz zu bekommen. Beim Auswaschen ging stets ein beträchtlicher Theil des Niederschlages durch das Filter, der Versuch, den Niederschlag durch Decantiren zu waschen, verlief nicht besser. Der Niederschlag setzte sich mit so extremer Langsamkeit ab, dass auf diesem Wege nicht zum Ziel zu kommen war. Endlich gelang die Reinigung unter Anwendung von Alkohol.

Die Casein-Albumoselösung wurde mit Baryumcarbonat 1 bis 2 Stunden gekocht, nach dem Abkühlen filtrirt, der auf dem Filter bleibende Rückstand mit 45%igem Alkohol in ein Becherglas gespült, noch eine reichliche Quantität 45%igen Alkohols hinzugefügt, bis zum nächsten Tage stehen gelassen. Man konnte dann den grössten Theil des Alkohols abgiessen und den Rest aufs Neue mit verdünntem Alkohol übergiessen. Diese Procedur wurde mindestens 8 bis 10 Mal wiederholt und schliesslich der restirende Rückstand sammt der anhängenden Flüssigkeit, von der man annehmen konnte, dass sie nur noch aus verdünntem Alkohol bestand, auf dem Wasserbade zur Trockne gedampft. Der nunmehr hinterbleibende, weisse pulverige, der Hauptsache nach aus Baryumcarbonat bestehende Rückstand zeigte beim Erhitzen auf dem Platinblech kaum eine leichte Graufärbung, mitunter selbst diese nicht. Er löste sich in Salpetersäure klar und ohne Gelbfärbung. Die Lösung gab mit Ammoniummolybdat starke Reaction auf Orthophosphorsäure; er bestand also nur aus Baryumcarbonat und Baryumphosphat. Der Phosphor ist also in der phosphorhaltigen Albumose in einer Form vorhanden, welche nicht Orthophosphor-

säure ist, aber beim Kochen mit Wasser und Baryumcarbonat leicht in Orthophosphorsäure übergeht. Es fragte sich, ob die Bildung von Orthophosphorsäure auch durch schwache Alkalien resp. Siedhitze an sich erfolgt.

Zur Entscheidung dieser Frage wurde eine Caseinverdauungslösung, die aus ca. 20 gr aschefreiem Casein durch 3tägige Pepsinverdauung erhalten war, nach dem Abfiltriren vom Paranuclein mit Na_2CO_3 neutralisirt, eingedampft und mit Magnesiamischung auf Orthophosphorsäure geprüft: die Probe fiel negativ aus. Nun wurde die Flüssigkeit in 3 Theile getheilt:

Theil I wurde auf einen Gehalt von 2% Natriumhydrat gebracht und 2 Stunden am Rückflusskühler erhitzt. Nach dem Erkalten wurde neutralisirt, dann mit Magnesiamischung versetzt: starke Fällung von Ammoniummagnesiumphosphat von characteristisch krystallinischem Aussehen.

Theil II wurde auf einen Gehalt von 0,1% Natriumhydrat gebracht, dann ebenso behandelt, es war ebenfalls reichlich Orthophosphorsäure gebildet.

Theil III wurde ohne weiteren Zusatz 3 Stunden lang am Rückflusskühler gekocht; auf Zusatz von Magnesiamischung entstand ebenfalls ein deutlicher Niederschlag. Derselbe war allerdings unvollkommen krystallinisch, aus kugligen Conglomeraten bestehend [1]), konnte jedoch durch Behandlung mit Salpetersäure — nach Abfiltriren und Auswaschen — und Wiederfällung mit Ammoniak in die characteristische krystallinische Form übergeführt werden. Uebrigens giebt Lubavin [2]) schon an und wir konnten es bestätigen, dass Casein selbst durch anhaltendes Kochen mit Wasser seines Phosphorgehaltes zum grossen Theil beraubt werden könne.

Diese leichte Entstehung von Orthophosphorsäure führte auf den Gedanken, dass der Phosphor in der phosporhaltigen Albumose

1) In der Dissertation von Clara Willdenow: „Zur Kenntniss der peptischen Verdauung des Caseins, Bern 1893" ist S. 25 ein ähnlicher Niederschlag, der mit Magnesiamischung in Caseinlösung erhalten war, erwähnt und seine Bedeutung als zweifelhaft hingestellt. Auch uns sind derartige Niederschläge wiederholt vorgekommen, sie liessen sich aber stets durch Auflösen in Säure und Wiederausfällung mit Ammoniak in die characteristische krystallinische Form überführen.

2) Ber. der deutsch. chem. Ges. XII. S. 1022.

vielleicht die Form von Metaphosphorsäure haben könnte. Zur Prüfung dieser Möglichkeit schien es uns zweckmässig, zunächst das Verhalten der Metaphosphorsäure gegen Alkalien und Säuren in der Siedehitze sowie gegen siedendes Wasser allein zu untersuchen.

40 ccm einer 2%igen Lösung von metaphosphorsaurem Natron werden mit 10 ccm $^1/_4$ Normallauge versetzt, sodass die Lösung also 0,05% NaHO enthält. Eine solche Lösung giebt mit verdünnter Schwefelsäure angesäuert, auf Zusatz von 5%iger Lösung von Albuminum ovi siccum einen starken Eiweissniederschlag.

Diese alkalische Lösung von Natriummetaphosphat wurde im Rückflusskühler gekocht: nach 3 Stunden ergiebt die Probe mit Eieralbumin nur noch schwache Fällung, nach weiterem 2stündigen Kochen fällt die Prüfung völlig negativ aus, dagegen ist Orthophosphorsäure mit Magnesiamischung deutlich nachweisbar.

40 ccm derselben Lösung von metaphosphorsauren Natron werden ohne Alkalizusatz 4 Stunden am Rückflusskühler gekocht, auch hier fällt die Reaction mit Eiweisslösung völlig negativ aus.

Somit zeigt die Metaphosphorsäure in alkalischer und neutraler Lösung beim Erhitzen in der That ein Verhalten, welches dem des Phosphors in den Caseinalbumosen sehr ähnlich ist.

Das Verhalten wässriger Lösungen von Metaphosphorsäure in solchen Concentrationen, welche hier allein in Betracht kommen, beim Eindampfen schliesst jedoch die Anwesenheit von Metaphosphorsäure in den löslichen Verdauungsproducten mit Sicherheit aus. Dampft man 500 ccm einer Lösung von 0,5 % Metaphosphorsäure — ein höherer Gehalt kommt nach den Phosphorbestimmungen in den Casein-Albumoselösungen, d. h. in diesem Falle in den Filtraten vom Paranuclein nicht in Frage — auf freiem Feuer oder auch anfangs auf freiem Feuer, dann auf dem Wasserbad bis auf 50 bis 100 ccm ein, so enthält die Lösung nur noch Orthophosphorsäure, keine Metaphosphorsäure. Dies gilt sowohl für reine Lösungen, als auch für solche, welche mit Albumosen versetzt sind. Es gilt ferner auch für solche Lösungen von Metaphosphorsäure, welche ausserdem noch 2,8 pM. HCl enthalten, entsprechend der Concentration der Verdauungssalzsäure. Da nun Orthophosphorsäure in den löslichen Verdauungsproducten in keinem Falle nachweisbar ist, auch nicht, wenn die Filtrate von Paranuclein

bei saurer Reaction eingedampft werden, so ist dadurch die Gegenwart von Metaphosphorsäure in den löslichen Verdauungsprodukten des Caseins vollständig ausgeschlossen.

Uebrigens werden die Albumosen des Caseins in neutraler oder saurer Lösung durch Metaphosphorsäure ebenso ausgefällt wie andere Albumosen. Beiläufig bemerkt wird auch das Casein, in Salzsäure von 2,8 ‰ HCl gelöst, durch Metaphosphorsäure gefällt.

Wenn auch nach allem Vorhergehenden nicht anzunehmen ist, dass der Phosphor in der phosphorhaltigen Albumose die Form der Metaphosphorsäure hat, so schien es doch noch von Interesse, das Verhalten des metaphosphorsauren Eiweiss selbst bei der Pepsinverdauung zu untersuchen. Hierüber liegen schon Angaben von L. Liebermann[1]) vor, nach welchen metaphosphorsaures Eiweiss durch Pepsinsalzsäure nicht verdaut werde. Unsere Beobachtungen stimmen damit nicht überein.

Aus Hühnereiweisslösung frisch gefälltes metaphosphorsaures Eiweiss, mit destillirtem Wasser bis zum Verschwinden der sauren Reaction gewaschen, wird in frischem Zustande in Pepsinsalzsäure suspendirt. Dasselbe ist nach 48stündiger Digestion im Brutschrank ziemlich vollständig gelöst. Die abfiltrirte Lösung fällte Eiweisslösung nicht, gab aber starke Orthophosphorsäurereaction, die zu Beginn der Verdauung nicht vorhanden war und starke Biuretreaction. Die Phosphorsäure wird mit Magnesiamischung vollständig ausgefällt, das Filtrat eingedampft, mit Alkohol gefällt. Die ausgefällten Albumosen werden mit Soda und Salpeter geschmolzen: in der Schmelze war gleichfalls Phosphor nachweisbar.

Ein zweiter Versuch gab folgendes Resultat: Aus einer Eieralbuminlösung (Albuminum ovi siccum) wurde metaphosphorsaures Eiweiss dargestellt, mit Alkohol und Aether behandelt, dann noch bei 110° getrocknet. 12 gr dieses Präparates wurden 14 Tage lang mit 250 ccm Pepsinsalzsäure, die 3 Mal erneuert wurde, bei 40° digerirt. Es blieb auch nach dieser langen Verdauung noch ein Rückstand von 0,56 gr = 4,7% des angewendeten metaphosphorsauren Eiweisses, 95,3% waren also in Lösung gegangen.

0,6735 gr des angewendeten metaphosphorsauren Eiweisses

1) Ber. d. d. chem. Gesellsch. Bd. 21. S. 598.

ergaben 0,093 $Mg_2P_2O_7$ = 0,02595 P = 3,85%, mithin waren in der angewendeten Quantität 0,4620 P enthalten.

0,3722 des ausgelösten Rückstandes ergaben 0,023 $Mg_2P_2O_7$ = 0,0064 P = 1,72%, die ganze ungelöste Quantität enthält somit 0,00963 P. Es waren also 0,4524 P = 97,92% des Phosphors in Lösung gegangen.

Um festzustellen, wieviel aus diesem Phosphor als Orthophosphorsäure vorhanden sei, wurde die durch Filtration erhaltene Lösung der Verdauungsproducte concentrirt, mit Magnesiawirkung gefällt und so von Orthophosphorsäure befreit, dann auf das Volumen von 150 ccm gebracht. 25 ccm wurden mit Soda + Salpeter eingedampft, geschmolzen, in der Schmelze der Phosphor bestimmt. Es ergaben sich 0,0153 $Mg_2P_2O_7$. Für die ganze Quantität berechnet sich daraus 0,0252 P. Somit waren von den in Lösung gegangenen 0,4524 g P 94,5 % als Orthophosphorsäure fällbar, 5,5 % nicht fällbar.

Unzweifelhaft wurde das getrocknete metaphosphorsaure Eiweiss viel schwieriger verdaut, als das frischgefällte, aber dieses Verhalten kommt ja den Eiweisskörpern im Allgemeinen zu und kann vielleicht zur Aufklärung der Differenz zwischen Liebermann's Ergebnissen und den unsrigen beitragen.

Nach diesen Versuchen kann von dem Vorkommen von Metaphosphorsäure in den Caseinalbumosen nicht die Rede sein. Der Phosphor der Caseinalbumosen hat also unzweifelhaft organische Form; ob er der Albumose selbst angehört oder in Form einer der Nucleinsäure analogen Paranucleinsäure vorhanden ist, muss vorläufig unentschieden bleiben.

III. Ueber das unlösliche Verdauungsproduct des Caseins.

Bezüglich der chemischen Natur des unlöslichen Verdauungsproducts des Caseins haben wir uns auf einige orientirende Versuche beschränkt, da für uns dieses Verdauungsproduct erst in zweiter Linie in Betracht kam.

Wir haben uns namentlich 2 Fragen vorgelegt:

1. ob der Phosphor aus dem Rückstand ebenso leicht in Form von Orthophosphorsäure abspaltbar ist, wie aus den phosphorhaltigen Caseinalbumosen und

2. ob sich in dem Rückstand eine der Nucleinsäure Altmann's entsprechende Säure nachweisen lässt.

Was die erste Frage betrifft, so verhält sich der Rückstand ganz ähnlich den löslichen Verdauungsproducten. Erhitzt man den noch feuchten, gut ausgewaschenen Rückstand 1 bis $1^1/_2$ Stunde im siedenden Wasserbad mit $2^0/_0$iger Natronlauge, in welcher er sich leicht löst, so enthält die Lösung Orthophosphorsäure, nachweisbar sowohl durch molybdänsaures Ammon nach dem Ansäuren mit Salpetersäure, als auch durch Magnesiamischung nach dem Ansäuern mit Salzsäure oder Essigsäure und erneutem Ammonzusatz. Die Ausscheidung des Ammonmagnesiumphosphats erfolgte etwas zögernd, aber characteristisch krystallinisch.

Was die zweite Frage betrifft, so sind wir ganz ebenso vorgegangen, wie C. Willdenow in der öfters citirten Dissertation und zwar in der Regel unter Verwendung des Rückstandes, welcher bei 22stündiger Verdauung von 10 gr lufttrocknem Casein mit $^1/_2$—$^3/_4$ Liter Pepsinsalzsäure resultirte.

Dieser Rückstand wurde zunächst in Wasser unter Zusatz von Natriumcarbonatlösung oder Ammoniak gelöst: er löste sich sehr leicht, aber nie ganz klar; auch nach der Filtration war die Lösung ein wenig trüb. Das Volumen des Filtrates wurde in der Regel auf 100—150 ccm gebracht und nun mit Essigsäure angesäuert. Der durch Essigsäure entstandene Niederschlag erwies sich nach gutem Auswaschen durch Schmelzen mit Salpetermischung als stark phosphorhaltig.

Das „essigsaure Filtrat", in welchem etwa vorhandene Nucleinsäure enthalten sein musste, gab ohne Ausnahme mit einer verdünnten, mit Essigsäure versetzten Hühnereiweisslösung eine starke Trübung, die sich allmälich zu einem Niederschlag verdichtete. Der Niederschlag gut ausgewaschen, erwies sich als phosphorhaltig.

Soweit stimmen unsere Beobachtungen mit denen Willdenow's und soweit sprechen sie auch für die Gegenwart der Nucleinsäure resp. Paranucleinsäure in dem unlöslichen Verdauungsproduct des Caseins. Das weitere Verhalten des „essigsauren Filtrats" stimmt aber nicht mit dem der Nucleinsäure überein.

a) wurde das essigsaure Filtrat mit einigen Tropfen Salzsäure versetzt, alsdann mit dem gleichen Volumen Alkohol, so entstand

ein weisser Niederschlag, der sich nach gutem Auswaschen zuerst mit verdünntem, dann mit absolutem Alkohol und Aether als phosphorhaltig erwies. In verdünnter Essigsäure löste sich derselbe aber nicht merklich, jedenfalls gab die filtrirte essigsaure Lösung mit Albuminlösung keinen Niederschlag. Dieses stimmt mit dem Verhalten von Nucleinsäure nicht überein.

b) wurde das essigsaure Filtrat mit dem gleichen Volumen Alkohol absol. versetzt, so entstand ein Niederschlag, welcher sich nunmehr nicht merklich in Essigsäure löste; das Filtrat von diesem Niederschlag trübte saure Abuminlösung nur ganz schwach oder gar nicht, ein Niederschlag konnte nicht erhalten werden. Die alkoholische Lösung blieb auf Zusatz von Salzsäure, in steigenden Mengen zugesetzt, von minimalen Zusatz angefangen, klar, während Nucleinsäure eigentlich jetzt erst hätte ausgefällt werden müssen, nicht aber schon durch den Zusatz von Alkohol zum essigsauren Filtrat.

Die Versuche, deren Ergebnisse nur zum Theil mit den Angaben Willdenow's übereinstimmen, waren, wie gesagt, nur orientirende, da wir zunächst nur den Uebergang des Phosphors in die löslichen Producte der Verdauung festzustellen und zu verfolgen beabsichtigten. In weiteren Versuchen wird es namentlich nothwendig sein, die quantitativen Verhältnisse zu berücksichtigen, sowohl in Beziehung auf die betreffenden Niederschläge selbst, als auch in Beziehung auf ihren Phosphorgehalt.

Etwas ist noch in unserer Beobachtung als auffallend und bemerkenswerth hervorzuheben. Lubavin giebt (l. c. S. 477) für seinen phosphorhaltigen Verdauungsrückstand den Gehalt an Phosphor zu 4,6 % an — allerdings für den in der Sodalösung löslichen Theil desselben, während unsere Rückstände sich, wie die von Willdenow, stets vollständig in Natriumcarbonatlösung lösten —. Willdenow fand (l. c. S. 13) 3,85 %. Unsere — bisher spärlichen — Beobachtungen ergaben weit niedrigere Werthe, nämlich 2,41; 2,27 (indirect bestimmt), 2,18; 2,11 %. Wenn sich gegen diese Bestimmungen auch einige Bedenken erheben lassen, so können sich doch diese Zahlen nur wenig von der Wahrheit entfernen. Dafür spricht schon die nahe Uebereinstimmung derselben unter einander.

Nachtrag. Während des Druckes der vorliegenden Arbeit ist eine denselben Gegenstand behandelnde Abhandlung von W. v. Moraczewski in der Zeitschr. für physiol. Chemie Bd. 20 S. 28 erschienen. Wir können an dieser Stelle nicht auf eine Kritik dieser Arbeit und Aufklärung der Differenzen mit unseren Resultaten eingehen, der Unterzeichnete muss sich vielmehr darauf beschränken, einige Missverständnisse v. M.'s zu berichtigen, welche vielleicht dadurch zu erklären sind, dass v. M. die deutsche Sprache, wie es scheint, nicht ganz beherrscht.

Indem v. M. auf eine frühere Mittheilung des Unterzeichneten im Centralblatt für die med. Wissensch. 1893 Nr. 23 Bezug nimmt, sagt er l. c. S. 30:

„Die Arbeit von Salkowski, die im Laufe meiner Untersuchungen über die gleiche Frage erschienen ist, ergibt ein Resultat, welches mit meinen Beobachtungen übereinstimmt, dass nämlich nicht aller Phosphor des Caseins im Nuclein zu finden ist, sondern nur ein Theil davon, dagegen kann ich nicht der dort ausgedrückten Meinung beistimmen, dass sich alles Nuclein in der Verdauungsflüssigkeit löst."

Dagegen habe ich zu bemerken, dass ich nie behauptet habe, dass unter allen Umständen alles Nuclein in Lösung gehe, es heisst vielmehr in der erwähnten Mittheilung:

„Der allgemeinen Annahme nach geht bei der Pepsinverdauung des Caseins der gesammte Phosphorgehalt in das abgespaltene sich unlöslich ausscheidende Paranuclein über. Nach meinen Beobachtungen ist es keineswegs so, vielmehr enthält das Paranuclein, mag nun die Verdauung kurze Zeit oder sehr lange — bis 6 Tage — dauern, nur ca. 15 % des Phosphors des Caseins, während der bei weitem grösste Theil sich in der Verdauungslösung befindet."

Es ist also hier von dem restirenden Paranuclein gesprochen und dass sich in demselben ca. 15 % des Phosphors befinden. Allerdings kann auch das Paranuclein völlig verschwinden, wenn man mit sehr gut wirksamer Pepsinsalzsäure länger als 5—6 Tage bei 40 ° digerirt: man erhält dann eine ganz klare Verdauungslösung. Das ist keine „Meinung", wie Herr v. M. sich ausdrückt, sondern eine „Beobachtung", die ich gemacht habe, und die nicht eben schwer zu machen ist, da sie nur voraussetzt, dass man die Mischung richtig anzusetzen im Stande ist. Wenn es Herrn v. M.

bisher nicht gelungen ist, die gleiche Beobachtung zu machen, so liegt das nur daran, dass seine Pepsinsalzsäure nicht wirksam genug war oder dass er nicht genug davon im Verhältniss zum Casein angewendet hat.

Ebenso beruht die zweite Behauptung auf einem Missverständniss.

v. M. sagt von mir: „auch lässt er das Verhältniss des Nucleinphosphors zum Caseosenphosphor unberücksichtigt.“ Unter „Verhältniss“ versteht v. M., wie aus dem Folgenden hervorgeht, „Zahlenverhältniss“. Wenn ich angebe, dass 15% des Caseinphosphors in dem Paranuclein stecken — die vorliegende Arbeit hat gezeigt, dass dieses Procentverhältniss sehr wechselnd sein kann, — so sind selbstverständlich 85% in den löslichen Verdauungsproducten oder, um den Ausdruck v. M.'s zu brauchen, in den Caseosen enthalten. v. M. wird doch nicht der Ansicht sein, es sei noch besonders zu beweisen, dass kein Phosphor in die Luft geht? Ich verstehe also nicht, wie man unter diesen Umständen sagen kann, ich hätte das Verhältniss des Nucleinphosphors zum Caseinphosphor nicht berücksichtigt.

E. Salkowski.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg.)

Die Hebelwirkung des Fusses, wenn man sich auf die Zehen erhebt.

Von

J. Rich. Ewald.

Mit 2 Figuren.

Seit vielen Jahren trage ich in meinen Vorlesungen vor, dass der Fuss, wenn man sich auf die Zehen erhebt, einen zweiarmigen Hebel darstellt. Häufige Fragen und Widersprüche meiner Schüler haben mir bewiesen, dass das Begreifen dieser Hebelwirkung nicht jedermann leicht wird, und mich veranlasst, nach einer richtigen Darstellung dieser Verhältnisse in der Litteratur zu suchen. Bisher war diese Umschau erfolglos. Viele deutsche und ausländische Lehrbücher der Physiologie lehren aber in dieser Beziehung durchaus Falsches.

Es scheint, dass Eduard Weber[1]) diesen Irrthum in die Physiologie eingeführt hat, wenn er ihn auch sicherlich nicht als erster beging. In seiner berühmten Abhandlung über die Muskelbewegung in Rudolph Wagner's Handwörterbuch der Physiologie sucht er bekanntlich die Kraft der Muskulatur am lebenden Menschen zu messen. Er schreibt: „Die Wadenmuskeln sind es, die wegen ihrer äusserst einfachen, auch am lebenden Menschen leicht zu bestimmenden Hebelverhältnisse sich ganz besonders für diesen Zweck eignen. Steht man mit parallelen Füssen auf dem Boden und bestrebt sich auf die Zehen zu treten, so heben die an der Ferse ziehenden Wadenmuskeln die auf die Axe des Fussgelenkes im Sprungbeine drückende Last des Körpers dadurch in die Höhe, dass sie den einarmigen Hebel des Fusses um die Axe des Zehen-

1) Artikel „Muskelbewegung" in R. Wagner's Handwörterbuch. Bd. III. 2. p. 88.

gelenkes im Köpfchen des ersten Mittelfussknochens als Hypomochlium drehen. Der Hebelarm, an welchem die Kraft der Muskeln wirkt, reicht daher vom Drehpunkte des Zehengelenkes bis zum Ansatzpunkte der Achillessehne an der Ferse; der Hebelarm, an welchem die Last des Körpers wirkt, dagegen vom Drehpunkte des Zehengelenkes nur bis zur Axe des Fussgelenkes im Sprungbeine". Diese Angaben sind irrig. Der Fuss stellt vielmehr, wenn wir uns auf die Zehen erheben, einen zweiarmigen Hebelarm dar. In der Axe des Fussgelenkes liegt der Drehpunkt des Hebels, die Kräfte, welche auf einander wirken, greifen am Ansatzpunkte der Achillessehne (Muskelkraft) und am Köpfchen des ersten Mittelfussknochens (Körperlast) an. Die Körperlast wirkt dabei nicht direct, sondern indirect als Druck des Fussbodens gegen den Unterstützungspunkt des Fusses.

Gegen die Anschauung Ed. Weber's und die daraus resultirende Berechnung der Kraft der Wadenmuskulatur haben auch schon Knorz[1]) und Henke[2]) Einspruch erhoben. Ihre Ansichten sind aber wenig durch die Lehrbücher verbreitet worden. Es scheint, dass man ihren Ausführungen gegenüber ein gewisses Misstrauen hegte und sich deswegen hütete, sie weiter zu verbreiten. Und mit Recht. Denn ohne auf alle Einzelheiten der von Knorz und Henke herrührenden Auseinandersetzung einzugehen, werden wir in Folgendem zeigen, dass sie den Kernpunkt der Sache gar nicht getroffen haben. Ihre Betrachtung geht von der Stellung des Menschen aus, bei der bereits der Körper auf die Zehen erhoben ist. Und da ist es denn freilich richtig, dass, wenn Gleichgewicht herrschen soll, der Schwerpunkt des Körpers über dem Zehengelenke liegen muss. Die beiden Kräfte, welche sich das Gleichgewicht halten, sind die Körperlast und der Zug der Wadenmuskulatur. Für die beiden, die Drehungsmomente bestimmenden Hebellängen, welche wir einfach die „maassgebenden" Hebelarme nennen wollen, werden von den beiden Autoren die Entfernungen vom Zehengelenk bis zum Fuss-

---

1) F. Knorz, Ein Beitrag zur Bestimmung der absoluten Muskelkraft. Dissertation. Marburg 1865.

2) Die Grösse der absoluten Muskelkraft aus Versuchen neu bearbeitet. Dissertation von F. Knorz, mitgetheilt von W. Henke. Zeitschr. f. rat. Medicin (3) Bd. 24. p. 245. 1865.

gelenk und vom letzteren bis zum Ansatz der Achillessehne angegeben.

Fig. 1.

Es fragt sich zunächst, ob diese Angaben ganz richtig sind. In der Fig. 1 stellt AC den vom Boden abgehobenen Fuss dar, BD das knöcherne Bein. SA ist die Richtung, in der der Schwerpunkt des Körpers nach unten drückt, CM die Zugrichtung der Wadenmuskulatur. Denkt man sich nun zunächst AC festgestellt und unbeweglich, so stellt BD und seine Verlängerung nach oben, also der ganze steifgedachte Körper, einen einarmigen Hebel dar, der sich um B (das Fussgelenk) dreht. Die Schwere des Körpers wirkt in der Richtung SA, und die darauf senkrechte Linie dB gibt die Länge des massgebenden Hebelarms an. Bezeichnet L die Körperlast, so ist $L.dB$ das Moment, welches den Körper nach vorn umzustürzen strebt. Das Gleichgewicht wird erzeugt durch die Kraft der Wadenmuskulatur W mit dem massgebenden Hebelarm mB, so dass also

$$L.dB = W.mB.$$

Offenbar wird auch Gleichgewicht herrschen, wenn DB fest und unbeweglich gedacht wird. Es handelt sich dann um das Gleichgewicht des zweiarmigen Hebels AC, auf den in A von unten nach oben der Druck des Bodens und in C die Wadenmuskulatur wirkt. Der Bodendruck E ist natürlich gleich L und wirkt in der Richtung AS, der maassgebende Hebelarm also wieder dB. Da nun für die Wirkung der Wadenmuskeln die Verhältnisse dieselben wie früher geblieben sind, so bekommen wir für das Gleichgewicht des zweiarmigen Hebels AC

$$E.dB = W.mB.$$

Nun ist ja aber $E = L$, und wir ersehen, dass der betreffende Zug der Wadenmuskulatur beide Hebel gleichzeitig im

Gleichgewicht hält, wodurch das allgemeine Gleichgewicht des Systems zu Stande kommt.

Knorz und Henke haben daher irrthümlicher Weise als massgebende Hebelarme AB und BC angesehen[1]). Doch kommt darauf für die Berechung der Muskelkraft wenig an, da das Grössenverhältniss zwischen AB und dB beinahe dem zwischen CB und mB gleichkommt. Aber von grösster Wichtigkeit ist, dass ihre Voraussetzung, der Schwerpunkt des Körpers müsse über A liegen, nicht zuzutreffen braucht. Beim ruhigen Stehen trifft das vom Schwerpunkt des Körpers gefällte Loth den Fuss gewöhnlich zwischen A und B. Man kann den Schwerpunkt aber auch genau über B bringen und ihn hier dauernd lassen. Nichts steht im Wege, um auch bei dieser Lage des Schwerpunktes den Körper zu heben, freilich nur auf ganz kurze Zeit und nur um Weniges, weil er sonst nach hinten umfallen würde. Aber für die Art der Hebelwirkung des Fusses ist es natürlich gleichgiltig, wie lange diese Bewegung fortgesetzt werden kann. Man kann ja aber auch den Körper gegen eine vertikale Wand lehnen und dann dauernd und bei jeder Erhebung des Fusses den Schwerpunkt des Körpers über B lassen. Der Fehler, den man bei dieser Versuchsbedingung machen würde, wäre kein wesentlicher, da nur ein kleiner Theil der Schwere als Druck gegen die Wand nach hinten, und gegen das Zehengelenk nach vorn verschwinden würde. Je geringer die Reibung zwischen dem Rücken und der Wand, desto kleiner wird der Fehler auch für das dynamische Gleichgewicht. Wir haben bei dem später zu beschreibenden schematischen Modell die Hebung des Körpers an einer Gleitfläche entlang geschehen lassen. Die Einfachheit der Construction rechtfertigt die Einführung dieses Fehlers. Hier aber wollen wir von einer solchen Führung des Rückens der Person absehen und den Fall betrachten, dass die völlig steif gedachte Fusssohle um ein Minimum auf kurze Zeit vom Boden abgehoben werde, wobei dann der Schwerpunkt des Körpers über der Axe des Fussgelenkes bleiben kann. Da sind dann die von Ed. Weber angenommenen Bedingungen erfüllt und die Auseinandersetzung von Knorz und Henke gibt uns keinen Aufschluss darüber, weshalb die von Weber angenommenen Kraft-

1) Auf diesen Irrthum hat auch W. Koster aufmerksam gemacht. Nederlandsch Archief voor Genees- en Natuurkunde. 3. Jaargang 1868, p. 35.

momente dennoch nicht zu einander passen. Die Antwort liegt in dem Umstande, dass das Fussgelenk stets als zweiarmiger Hebel und nie als einarmiger wirkt, wenn man sich auf die Zehen erhebt.

Erläuterung.

Ein Hebel ist bekanntlich ein um einen Punkt drehbarer fester Körper.

Bei den Hebelgesetzen kommt es auf die Bewegungen an, welche die Ansatzpunkte der Kräfte **relativ** zu einander ausführen, nicht auf die absoluten Bewegungen derselben im Raum.

Für uns kommen hier nur diejenigen Hebel in Betracht, bei denen die Bewegung um gleichzeitig viele Punkte, d. h. um eine Axe stattfindet, und auf welche nur zwei Kräfte wirken, welche das Bestreben haben, den Hebel in entgegengesetzter Richtung zu drehen. Diese beiden Kräfte mögen senkrecht auf die Verbindungslinie ihrer Angriffspunkte gerichtet sein, von der wir annehmen, dass sie die Axe schneidet. Endlich sollen beide Kräfte in einer zur Axe lothrechten Ebene wirken. Das Hebelgesetz lautet dann nach der gewöhnlichen Ausdrucksweise: Es findet Gleichgewicht statt, wenn

$$Pm = Qn,$$

wobei P und Q die Kräfte, m und n ihre Abstände von der Axe bezeichnen.

Man unterscheidet einarmige und zweiarmige Hebel und definirt sie durch die Lage der Ansatzpunkte der Kräfte zum Drehpunkte. Diese Definitionen sind indessen für diejenigen Fälle, wo bei Bewegung des Hebels der Drehpunkt eine Bewegung im Raume macht und in Folge davon einer der Ansatzpunkte der Kräfte im Raume stillsteht, nicht sehr bequem. Ich bediene mich daher folgender Ausdrucksweise:

„Ein einarmiger Hebel ist ein solcher, bei dem, wenn man den Ansatzpunkt der einen Kraft zum Ansatzpunkt der andern verschiebt, zur Erhaltung des Gleichgewichtes die Differenz der beiden Kräfte continuirlich kleiner werden muss. Bei Ueberlagerung der beiden Ansatzpunkte wird die Differenz 0. Bei den zweiarmigen Hebeln dagegen erreicht die Differenz an einer Stelle den Werth ∞.“

Denkt man sich nun beim Fussgelenk den Ansatzpunkt der

Achillessehne allmählich immer näher an den Angriffspunkt der Last geschoben, so ist klar, dass die Muskelkraft, die zum Heben des Körpers auf die Zehen nöthig wäre, immer grösser und grösser werden müsste, je mehr sich der Ansatzpunkt des Axe des Fussgelenkes nähert. Wir haben es also mit einem zweiarmigen Hebel zu thun.

Der Irrthum Eduard Weber's und aller seiner Nachfolger wurde veranlasst durch das Uebersehen des Umstandes, dass sich die Wadenmuskulatur ja nicht um das Stück verkürzt, um welches sich ihr Ansatzpunkt von dem Fussboden entfernt. In Wahrheit verkürzt sie sich nur um dieses Stück, weniger dem Stück, um welches ihr Ursprungspunkt bei dem Heben des Körpers mitgehoben wird. Würde die Ferse durch einen ausserhalb des eigenen Körpers befestigten Muskel gehoben werden, also etwa durch den Arm eines anderen Menschen, so wirkte in der That das Fussgelenk in diesem Falle als einarmiger Hebel.

Für manchen Leser wird die nachfolgende Ueberlegung leichter verständlich sein, als die obige Auseinandersetzung. Gesetzt, es stünde jemand auf dem Kopfe und trüge auf den Zehengelenken der ersten Mittelfussknochen einen anderen Menschen von genau seiner Körperschwere, so wird er diesen bei einer bestimmten Verkürzung seiner Wadenmuskeln um ein ganz bestimmtes Stück heben. Dass in diesem Falle sein Fussgelenk als zweiarmiger Hebel wirkt, ist von vornherein einleuchtend. Bei einer gewissen Spannung der Muskulatur findet Gleichgewicht statt, und bezeichnet man mit L die Schwere der gehobenen Person, mit M die Muskelkraft[1]), mit a den Abstand des Köpfchens des ersten Mittelfussknochens von der Axe des Fussgelenkes, und mit b den Abstand dieser Axe von dem Ansatzpunkt der Achillessehne, so ist in diesem Falle nach oben erwähntem Gesetz

$$La = Mb.$$

Alle wesentlichen mechanischen Bedingungen bleiben nun genau die gleichen, wenn sich die bisher kopfstehend gedachte Person in die normale Stellung begibt und sich selbst auf die Zehen erhebt. Die gleiche Muskelverkürzung hebt jetzt den eigenen Körper, und die gleiche Muskelspannung wird daher auch wieder

1) Es wird dabei angenommen, dass sie in vertikaler Richtung wirke.

das Gleichgewicht herstellen. Wäre es richtig, dass im letzteren Falle das Fussgelenk wie ein einarmiger Hebel wirkte, so müsste

$$La = M\ (a + b)$$

sein, was unmöglich ist, da $La = Mb$ und a nicht 0 sein kann.

Endlich kann man sich von der Hebelwirkung des Fussgelenkes an einem Modell, das ich ausführen liess und das die Fig. 1 schematisch darstellt, durch sinnliche Anschauung überzeugen. Ein hohler Messingcylinder c stellt das Bein dar und gleitet an einer Stahlstange auf und nieder, falls er nicht durch die Schraube d festgeschraubt ist. Der Fuss wird dargestellt durch einen nach dem Contour der Sohle gebogenen starken Draht, der mit dem Cylinder durch ein Gelenk (Fussgelenk) so verbunden ist, dass sich die beiden Hebelarme a und b wie 3 : 1 verhalten.

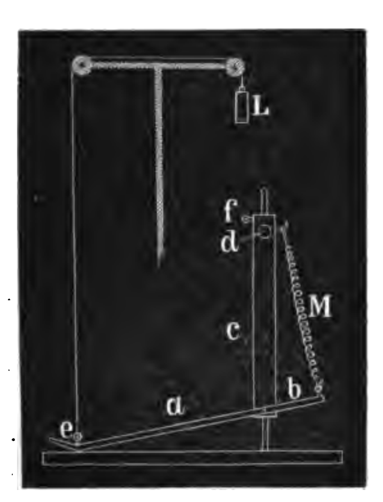


Fig. 2.

Die Spiralfeder M (die Muskelkraft) zieht an dem kurzen Hebelarm, an dem langen das Gewicht L (Körperlast). Man macht nun zunächst den Cylinder durch Anziehen der Schraube d unbeweglich und überzeugt sich vom herrschenden Gleichgewicht bei horizontaler Stellung des Fusses. Der Zug von M beträgt also 3 L.

Hierauf entfernt man das Gewicht L und die Schnur aus der Oese e, ferner wird die Schraube d gelüftet. Der beweglich gewordene Cylinder c befindet sich nun im Gleichgewicht mit der Spiralfeder M, und die Verhältnisse sind die gleichen, wie wenn sich jemand auf die Zehen erhebt. Wäre nun dabei der Fuss als einarmiger Hebel wirksam, so müsste sich die Last des Cylinders zur Zugkraft der Feder M wie $(3 + 1)$ zu 3 verhalten, oder 4 L betragen. Das wahre Gewicht des Cylinders ist nun leicht zu bestimmen. Man stellt zunächst den Fuss im Fussgelenke fest, was mittelst eines in der Fig. 2 fortgelassenen Stiftes geschieht, der durch ein seitlich in dem Cylinder angebrachtes Loch gesteckt wird und den Hebelarm b verhindert, über die horizontale Lage

hinaus sich nach oben zu bewegen. Dann befestigt man in der Oese f die Schnur des Gewichtes L, die man nun in umgekehrter Richtung wie früher über die Rollen des Statives legt. Es zeigt sich, dass der Cylinder im Gleichgewicht gehalten wird, also nur L wiegt und folglich ebensoviel als früher bei festgeschraubtem Cylinder das Gewicht betrug, welches bei e angreifend die Federkraft aequilibrirte.

Auf diese Weise ist bewiesen, dass die Last des Cylinders (Körperlast) auf den den Fuss darstellenden Hebel in gleicher Weise wirkt, wie wenn man den Zug eines dieser Last gleichen Gewichtes bei festgestelltem Cylinder (Körper) in der Richtung von unten nach oben bei e (Köpfchen des ersten Mittelfussknochens) angreifen lässt.

Endlich kann man an dem Modell die Feder M aus dem am oberen Ende des Cylinders befindlichen Haken aushängen und zeigen, dass nun bei einer viel geringeren Dehnung der Feder als zuvor der Cylinder durch Zug an der Feder gehoben wird. Wie oben (p. 256) bereits erwähnt, wirkt in diesem letzteren Falle der Fuss als einarmiger Hebel und die Feder wird jetzt nur durch $^3/_4$ L gespannt.

(Aus dem physiologischen Institut der Universität Strassburg.)

Zur Physiologie des Labyrinths.

3. Mittheilung[1]). Das Hören der labyrinthlosen Tauben.

Von

J. Rich. Ewald.

Es giebt physiologische Versuche, welche nicht immer gelingen. Bald trägt hiervon die Schuld die Schwierigkeit der

1) Die früheren Mittheilungen befinden sich in diesem Archiv. Bd. 41. p. 463 u. Bd. 44. p. 319.

Operation, welche in Folge von Blutungen, Nebenverletzungen u. a. m eine stets gleiche Herstellung der Versuchsbedingungen unmöglich macht, bald liegt es an den Versuchsthieren selbst, welche individuell verschieden auch auf wirklich genau gleiche Eingriffe reagiren. Es giebt aber auch physiologische Versuche, welche immer gelingen. Von ihnen kann man wie von den guten physikalischen Versuchen sagen: „sie müssen gelingen." Im anderen Fall hat sich der Experimentator einen Fehler zu Schulden kommen lassen.

Zu den nie versagenden physiologischen Versuchen gehört auch das Hören der labyrinthlosen Tauben. Denn ich habe trotz meiner über so viele Jahre sich erstreckenden und so überaus vielfältigen Erfahrungen

1. noch keiner einzigen Taube beide Labyrinthe vollständig entfernt, bei welcher nicht mit Leichtigkeit und in überzeugender Weise ihr noch vorhandenes Hörvermögen nachweisbar gewesen wäre, und ferner habe ich, was wohl noch weit mehr heissen will,

2. noch in keinem einzigen Falle, wo es mir darauf ankam, dass eine labyrinthlose Taube auf Schall reagire, eine ungenügende Reaction oder gar ein Ausbleiben derselben beobachtet. Jede einzelne Hörprüfung lieferte dann vielmehr den unumstösslichen Beweis des noch bestehenden Hörvermögens.

Freilich ist zur Anstellung dieser Versuche zweierlei nöthig. Erstens muss man gelernt haben, einer Taube die Labyrinthe zu nehmen und zweitens muss man Gehörprüfungen anstellen können.

Zu der Operation, welche die Herausnahme des ganzen Labyrinths einer Taube bezweckt, habe ich hier nur wenig meiner früheren ausführlichen Beschreibung (Nervus VIII. Kap. V) hinzuzufügen. Die kränkenden Angriffe, welche gegen die Art meines wissenschaftlichen Vorgehens von Herrn Bernstein[1]) gerichtet wurden, veranlassen mich indessen, mit wenigen Worten auf die Entwickelung und die Vorzüge meiner Operationsmethode einzugehen. Das Neue, das über die Operation zu sagen ist, wird in diese Schilderung eingeschaltet werden.

Als ich mich mit der Labyrinthfrage zu beschäftigen anfing, lag die Technik für die Untersuchung der Taube noch sehr im

1) J. Bernstein, Ueber die specifische Energie des Hörnerven u. s. w. Dies Arch. Bd. 57. p. 475.

Argen. Selbst die sorgfältigen und technisch am meisten vorgeschrittenen Versuche Breuers an den Bogengängen, denen wir so ausserordentlich viel verdanken, hatten noch nicht zu einer vorwurfsfreien Durchschneidung derselben geführt und für eine kunstgerechte Herausnahme des ganzen Labyrinths waren nicht einmal die nöthigen Vorbedingungen erkannt worden. Zunächst musste daher für zwei Dinge gesorgt werden: für eine gute Fixirung des Taubenkopfes, und zweitens für eine genügende optische Vergrösserung des Operationsfeldes. Nach vielen Aenderungen entstand allmählich der Taubenhalter in seiner jetzigen einfachen Form. Es wurde ferner die Westien'sche Lupe in einer für die Operationen bequemen Weise zugerichtet. Beide Hülfsmittel halte ich für ganz unentbehrlich für eine einwurfsfreie Herausnahme des Labyrinths und möchte mir selbst heute nach der vieljährigen Uebung in dieser Operation und nach Erlangung der mir stets gegenwärtigen Uebersicht über die complicirten topographisch-anatomischen Verhältnisse, nicht getrauen ohne Taubenhalter und Westien'sche Lupe ein Labyrinth in befriedigender Weise zu entfernen. Wenn nun gar ein Neuling auf diesem Gebiete diese Hülfsmittel glaubt entbehren zu können, so wird man seinen Angaben nur wenig Beachtung schenken. Es ist etwa so, als wenn ein Uhrmacherlehrling behauptet, einen Anker für eine feine Taschenuhr ohne Lupe und ohne Feilkloben herstellen zu können. Ein Meister hat nicht nöthig, sich das Product erst lange anzusehen. Herr Matte[1]), auf dessen Untersuchungen weiter unten eingegangen werden soll, schreibt, dass er keines Taubenhalters und keiner Lupe bedürfe. Nur weil er das Material zu Herrn Bernstein's Angriffen geliefert hat, lasse ich seine Angaben nicht unberücksichtigt.

Sodann mussten die anatomischen Kenntnisse für die Operation theils zusammengesucht, theils erst geschaffen werden. Ueber den Verlauf der wichtigen Sinus war nur ganz Ungenügendes bekannt; das Vorhandensein einer Membrana tympanica secundaria wurde zwar behauptet aber auch geleugnet, das Verhalten der Bögen am grossen Kreuz war nur theilweise, das kleine Kreuz aber noch gar nicht beschrieben. Endlich wusste niemand in wie viel gesonderten Aesten der Nervus octavus in die Ohrhöhle eintritt und es

---

1) F. Matte, Experimenteller Beitrag zur Physiologie des Ohrlabyrinthes. Dies Arch. Bd. 57. p. 437.

war daher unbekannt, wie viele Octavus-Stümpfe man nach der Entfernung des Labyrinths müsse sehen können.

Von den bei der Operation selbst zu gebrauchenden Instrumenten soll hier nur die eigens zu diesem Zwecke construirte Horizontalzange erwähnt werden, welche in einfachster Weise gestattet, in der Tiefe der kleinen, verhältnissmässig aber sehr tiefen Wunde die lothrecht zur Tiefenausdehnung liegenden Knochenwände abzutragen. Ohne diese Horizontalzange wird die Ausführung gewisser Theile der Operation zu einem Kunststück; mit derselben gelingen sie leicht und mit Sicherheit.

Ganz allmählich und langsam ist dann mit den Kenntnissen, den Instrumenten und der Fertigkeit sie zu gebrauchen, die jetzt geschaffene Operationsmethode entstanden. Sie gestattet, das Labyrinth einer Taube etwa mit derselben Sicherheit gänzlich zu entfernen, mit der man an einer normalen menschlichen Leiche ein Auge ohne Reste zu lassen, herausnehmen kann. Der Anblick des Querschnitts der durchschnittenen oder durchrissenen Nerven liefert dabei das absolut sichere Merkmal.

Es hätte übrigens für die Untersuchung der Thiere unmittelbar nach der Operation und in den nächsten Tagen nach derselben gar keine Bedeutung, falls bei Kahlheit der Nervenstümpfe ein Restchen eines häutigen Bogenganges in irgend einem entlegenen Theile eines knöchernen Bogens zurückbliebe. Da es ausser Zusammenhange mit den Nervenstümpfen ist und selbst gar keine Nervenfasern besitzt, so kann es bei der Untersuchung der Thiere nicht m e h r schaden als etwa nach Herausnahme eines Auges ein in der Orbita zurückgebliebenes Restchen der Linse. Auch für die späteren Untersuchungen sind solche Restchen häutiger Bögen völlig unschädlich. Sie gehen nämlich, wie die Sectionen nach anderen Operationen ergeben haben, sehr bald ganz zu Grunde, und ich habe nie eine neue Vereinigung solcher zusammenhangslosen Kanalstücke mit einem der Octavusstümpfe gesehen. Aber es könnten doch in dieser Beziehung Ausnahmen vorkommen, und bei so eminent wichtigen Fragen soll man dem Zufall und den Ausnahmen keinen Raum lassen. Man sorge daher dafür, dass auch die häutigen Canäle durch die Operation ganz entfernt werden. Bei dem von mir (Nervus VIII Kap. V) angegebenen Verfahren werden die glatten Enden des knöchernen Can. externus und des knöchernen Can. posterior sowie der knöcherne Kanal

des Can. anterior fast in seiner ganzen Länge nicht eröffnet und man zieht die häutigen Kanäle aus ihnen heraus. Dabei ist mir noch nie ein Kanal zerrissen, so dass ein Restchen hätte zurückbleiben können. Entscheidend ist hier aber nur die Länge der herausgezogenen Kanalstücke, welche man auf dem Objectträger nachmessen kann. Dies Verfahren, die häutigen Bögen zu entfernen, habe ich in letzter Zeit manchmal noch etwas erweitert. Um nämlich Personen, welche mir bei der Operation zusahen, ein unmittelbares Urtheil über die gänzliche Entfernung auch der häutigen Kanäle zu gestatten, habe ich in einigen Fällen alle knöchernen Kanäle ganz eröffnet, so dass man in alle überall hineinsehen konnte. In anderen Fällen liess ich nur den Can. anterior und das glatte Ende des Can. posterior geschlossen, brachte aber auf die durchschnittenen Enden ihrer häutigen Kanäle, bevor ich sie von der anderen Seite her aus den knöchernen Kanälen hervorzog, ein Spürchen Methylviolett. Man erkennt dann an den herausgezogenenen Kanälen diese Enden wieder und zeigt so unmittelbar die Vollständigkeit des entfernten Kanals.

Als ich 1885 zuerst anfing, die Labyrinthe vollständig zu entfernen, war das Gelingen der Operation einer besonderen Geschicklichkeit, und selbst diese vorausgesetzt, immer noch dem Zufall unterworfen. Jetzt ist die Operationsmethode so ausgearbeitet und in ihren einzelnen Phasen so studirt, dass die Geschicklichkeit nur noch eine kleine Rolle dabei spielt, der Zufall aber gar keine mehr. Es lässt sich die Operation mit einer Genauigkeit und Sauberkeit ausführen, welche selbst von den feinsten Augenoperationen nicht erreicht wird. Am meisten Gewicht wird man naturgemäss auf das Sehen der 5 Octavusstümpfe zu legen haben. Das mikroskopische Durchmustern der herausgenommenen Labyrinththeile, auf welches Herr Matte grosses Gewicht legt, hat gar keinen Werth. Denn es ist jedenfalls nicht immer, und wenn man wie Herr Matte verfährt, wohl nie möglich den Vestibularapparat in einem Stück herauszuheben. Die dünnen Membranen zerreissen in unregelmässiger Weise, und wie dann Herr Matte an den Fetzen den Nachweis der Vollständigkeit führt, ist unverständlich. Sicherer ist schon der Nachweis der vollständigen Entfernung des Labyrinths nach der Section mit Hülfe von Serienschnitten zu führen, die durch die entkalkte Schädelpartie gelegt werden. Aber wer möchte denn bei allen untersuchten Thieren nachher Serien-

schnitte durch die Ohrhöhlen legen? Und selbst wenn man dies thäte und auch kein Schnitt misslänge, so würde man für den Fall, dass man nach meiner Methode operirt hat, nur etwas bereits Feststehendes noch einmal beweisen. Man wird doch nicht, wenn man einem Kaninchen einen Augapfel entfernt hat und der Stumpf des durchschnittenen Nervus opticus deutlich zu Tage lag, nachher Serienschnitte durch die Orbita machen, um das Fehlen des Sehorgans zu beweisen.

Soviel über die Operation, welche zu der Entdeckung geführt hat, von welcher Herr Bernstein sagt, dass seines Erachtens kaum jemals eine wissenschaftliche Behauptung mit so leicht wiegender Begründung in die Welt geschleudert worden sei. Herr Bernstein selbst stützt seine Ansichten, welche meine Erfahrungen widerlegen sollen, auf das Verhalten der von Herrn Matte operirten Thiere. Sehen wir zu, wie die Tauben, welche Herr Matte operirt hat, beschaffen waren. Dass die oben kurz angedeuteten technich-operativen Errungenschaften für Herrn Matte noch nicht existiren, wurde theilweise schon angeführt. Ohne Taubenhalter und ohne Lupe bohrt er das knöcherne Labyrinth an, wobei ihm nicht einmal ausreichende anatomische Kenntnisse zu Gebote stehen. Anstatt, dass er wisse, wo er sich mit seinen Instrumenten befindet, giebt ihm das Ausfliessen der lymphatischen Flüssigkeit das Zeichen, dass er am rechten Orte ist! Ein in den Schneckenkanal geschobenes Häkchen wird „mehrmals umgedreht" um den Inhalt zu entfernen, dabei zerreist dann zuweilen die Schnecke. Ich kann mich nicht erinnern, dass mir oder einem meiner Schüler jemals die Schnecke zerrissen wäre. Sie besteht aus einem relativ so festem Gewebe und lässt sich so leicht und ohne den geringsten Widerstand zu leisten von dem Ramulus cochlearis abziehen, dass sie nur bei einem ganz besonders rohen Verfahren zerreissen kann. Wie die Bogengänge, welche doch in sich geschlossene Ringe darstellen, von Herrn Matte entfernt werden, erfahren wir nicht. Und dann das Schlimmste: Die 5 Stümpfe des Nervus octavus hat Herr Matte nie bei der Operation gesehen.

Aber es muss ja natürlich jedem überlassen bleiben, nach welcher Methode er operiren wolle, wenn er nur den gewünschten Endzweck, nämlich die vollständige Entfernung der Labyrinthe ohne Nebenverletzungen erreicht. Zu diesem Resultat ist nun Herr

Matte offenbar nicht gelangt. Die wenigen Beobachtungen, die er mittheilt (Neues enthalten sie übrigens gar nicht, und zudem meist Unrichtiges) zeigen, dass sich die Thiere nicht wie gut operirte labyrinthlose Tauben verhielten. Seine einseitig operirten Thiere können nicht mehr fliegen, die doppelseitig operirten zeigen eine „unaufhörliche Unruhe mit excessiven Muskelanstrengungen." Auch Herr Bernstein schreibt von diesen letzteren Thieren: „Die Tauben machen beständig Kopfbewegungen, zwinkern beständig mit den Augen" u. s. w. Ich habe nach einwandsfreier Ausführung der Operationen noch nie derartige labyrinthlose Tauben gesehen. Grade die Bewegungslosigkeit der Thiere ist auffallend, und wiederholt wurde von Fachcollegen, denen ich das Hören der labyrinthlosen Tauben demonstrirte, die Bemerkung gemacht, dass die Thiere in der Zwischenzeit zwischen den Reactionen ausgestopften Thieren vollständig glichen. So sehen wir denn, dass das Material, welches Herrn Bernstein zu seinen Angriffen diente, zur Beurtheilung des Verhaltens labyrinthloser Tauben unbrauchbar war.

Was nun die Gehörprüfungen selbst anbelangt, so bin ich mit einer Vorsicht zu Werke gegangen, welche nicht leicht übertroffen werden kann. Die Taube stand in einem von der Decke des hohen Zimmers herabhängenden Käfig auf einer mehrere Centimeter hohen Watteunterlage. „Das eine Ende eines vier Meter langen Gummischlauches (Gasschlauch) wurde 10 cm von dem Kopf der Taube entfernt in einem Stativ befestigt, natürlich ohne dass eine Berührung mit dem Käfig stattfand.

An dem anderen Ende des Schlauches wird nun gerüttelt und gezogen, die Taube reagirt nicht. Das Schlauchende wird in den Mund genommen und es wird mit grösster Kraft die Luft aus demselben herausgezogen, die Taube reagirt darauf ebensowenig. Nun wird inspiratorisch ein Ton erzeugt und die Taube fährt sofort erschrocken aus dem Schlafe. Der lange Schlauch gestattete dabei den Versuch von einem benachbarten dunklen Zimmer aus zu machen und die Taube durch einen engen Spalt in der Thüre zu beobachten" [1]).

Bei diesem Versuch kann von einem Anblasen der Taube gar nicht die Rede sein, denn es wird ja die Luft durch den Schlauch angesogen. Der in den Schlauch eintretende Luftstrom ist nur

1) Berliner klin. Wochenschr. 1890. No. 32.

sehr unbedeutend, da das Luftquantum, welches zur Erzeugung des inspiratorisch hervorgebrachten Tones erforderlich ist, ja nur sehr gering ist. Jeder weiss, dass man einen gesungenen Ton lange aushalten kann. Die Luft strömt ferner von allen Seiten her in die Schlauchöffnung ein, und in Folge davon ist schon in ganz geringer Entfernung von der Eintrittsöffnung in den Schlauch die Luftbewegung verschwindend klein. Eine ungleich grössere Luftbewegung findet statt, wenn die Luft mit möglichst grosser Geschwindigkeit durch eine inspiratorische Athembewegung ohne gleichzeitige Tonerzeugung, also bei weit geöffneter Stimmritze erfolgt. Auf diese Luftbewegung reagirt die Taube aber nicht. Ueberhaupt ist die Empfindlichkeit der Thiere für Anblasen gar nicht gross. Wenn neben der Taube eine offene Kerze brennt oder wenn ein kleines Federchen am Kopfe oder Rücken des Thieres lose hervorragt, so kann man durch Blasen die Flamme und die Feder in deutliche Bewegung versetzen, während die Taube regungslos stehen bleibt.

Ist demnach das Fühlen der Luftbewegung bei meinen Hörprüfungen ausgeschlossen, so bleibt nur noch das Fühlen resonirender Gebilde übrig. Auch in dieser Beziehung kann man, glaube ich, nicht vorsichtiger, als geschehen, die Prüfungen anstellen. Die Taube steht auf einer dicken Watteschicht, berührt also nirgends direct den Käfig. Dieser hängt von der Decke herab und wird weder von dem Schlauch noch von dem Stativ (überhaupt von keinem Gegenstand) berührt. Zudem ist auch hier der Beweis a fortiori leicht beizubringen. Die Tauben reagiren nämlich auch auf Erschütterung gar nicht leicht. Ich hatte eine kleine Vorrichtung gemacht, welche aus einem Hebelchen bestand, das dicht neben dem Käfig befestigt war. Aus der Ferne konnte das Hebelchen mit einem Faden in Bewegung versetzt werden und kratzte dann an einem der Stäbe des Käfigs. Dies kratzende Geräusch hörte ich deutlich aus der Entfernung, die Taube reagirte aber nicht darauf. In meinem Buche (Nervus VIII p. 24) ist ferner erwähnt, dass wenn sich die Thiere in einem Glaskasten auf einem Tische befinden, man an den Tisch kratzen oder mit einem Violinbogen über die Kante desselben streichen kann ohne eine Reaction des Thieres hervorzurufen. Es sei hier eine spätere Beobachtung hinzugefügt. Die Tauben liessen sich sogar inmitten von Gehörprüfungen, als sie sich also unter den hierzu günstigsten Bedin-

gungen (siehe unten) befanden und ausnahmslos auf Schall reagirten, durch Erschütterungen, die ich selbst deutlich in meinen Füssen fühlte, dennoch nicht aus ihrer Ruhe bringen. Es kamen sowohl die Erschütterungen auf der Strasse vorbeifahrender Wagen als auch solche, welche im Zimmer durch starkes Auftreten mit einem Fuss hervorgebracht wurden, zur Beobachtung.

Wiederholt habe ich darauf hingewiesen, dass man die Hörprüfungen nicht am Tage vornehmen darf. So heisst es auch in meinem Buche (Nervus VIII p. 26): „Für alle Thiere gilt aber die unumgängliche Vorschrift, die Prüfungen am Abend oder während der Nacht anzustellen, wenn lautlose Stille herrscht und die Thiere mit geschlossenen Augen im Begriff sind, einzuschlafen." Die Tauben nehmen, wie alle Vögel, eine besondere Attitude zum Schlafen ein. Die Federn werden aufgeplustert, die Augen geschlossen, der Kopf wird eingezogen, der Schnabel zuweilen unter die Federn gesteckt. In dieser Stellung steht die Taube lange Zeit hindurch, bevor sie eigentlich einschläft, und da sie dann nicht die geringste Körperbewegung macht, so ist dies die günstigste und in gewisser Beziehung einzig brauchbare Zeit für die Gehörprüfungen. „Sie reagirt dann, indem sie plötzlich den Kopf hebt, die Augen öffnet, sich umsieht, die Federn niederlegt und eventuell einige Schritte macht" [1]).

Das Niederlegen der Kopffedern ist dabei ein sehr feines und leicht sichtbares Symptom. Es bleibt, wenn man über die Grenze der Hörfähigkeit Versuche anstellt, häufig als letzte Reaction übrig. Zwischen den einzelnen Gehörprüfungen muss man stets eine so lange Zeit verstreichen lassen, bis die Taube wiederum ihre frühere Stellung eingenommen hat, und in dieser auch wieder ruhig verharrt. Diese Zeit ist sehr verschieden lang und kann 3—20 Minuten betragen. Je weniger die Taube sich sicher fühlt, je mehr sie ferner bei der letzten Reaction erschrocken ist, desto länger dauert es, bis sie sich wieder dem Einschlafen überlässt. Reiht man die einzelnen Prüfungen zu dicht aneinander, so können Misserfolge vorkommen.

Die labyrinthlosen Tauben reagiren auf Töne, Geräusche, so-

---

1) Berliner klin. Wochenschrift. 1890. No. 32. Herr Matte sagt (l. c. p. 458): „Worin die Reactionen bestanden haben, darüber erfahren wir von Ewald nichts"!

gar auf Knall. Am besten ist es, wenn man sich nur von der Hörfähigkeit überhaupt überzeugen will, ein gedehntes tiefes „Uh" zu rufen (vergl. Deutsche medicinische Wochenschrift 1893 S. 826 Nr. 34). Auf dieses Uh haben die unter oben geschilderten Umständen geprüften labyrinthlosen Tauben sämmtlich, und jede bei jedem einzelnen Versuch völlig unzweideutig reagirt.

Die ausserordentliche Wichtigkeit und Tragweite dieser Versuche, vor denen die Lehre von der specifischen Energie der Nerven nur schwer bestehen kann und welche uns noch so viele hier nicht zu besprechende Folgerungen aufzwingen, war von vornherein einleuchtend. Die Prüfungen wurden daher immer wieder und wieder angestellt und anderen Personen demonstrirt. Wenn ich nun zurückblicke auf die Hunderte von Versuchen, welche der Operationsmethode, der Auffindung einer völlig einwandfreien und nie versagenden Versuchsanordnung für die Gehörprüfungen und den immer wiederholten Prüfungen unter diesen besten Bedingungen gewidmet wurden, so contrastirt damit in eigenthümlicher Weise der Vorwurf des Herrn Bernstein, dass seines Erachtens kaum jemals eine wissenschaftliche Behauptung mit so leicht wiegender Begründung in die Welt geschleudert worden sei.

Die Hörfähigkeit labyrinthloser Tauben wurde durch Wundt[1]) bestätigt und es ist nicht nur seine Autorität meinen Versuchen zu gute gekommen, sondern dieselben wurden auch zu gleicher Zeit von ihm erweitert. Denn Wundt wollte sich offenbar nicht nur von der Thatsache, dass die labyrinthlose Taube noch hört, überzeugen, sondern auch zugleich ein Urtheil über den Grad der Störungen gewinnen. Er verfuhr daher nicht in der von mir angegebenen Weise, bei der ausnahmslos eine Reaction erfolgt, sondern stellte die Beobachtungen am Tage an. Da nun die Tauben, wie alle Thiere, am Tage viel schwerer und besonders sehr ungleich reagiren, so brauchte er zum Vergleich eine normale Taube. Meine labyrinthlose Taube — Wundt wird dies bestätigen können — hat nicht beständig den Kopf bewegt und auch nicht beständig mit den Augen gezwinkert, wie dies Herr Bernstein von seinen Tauben angiebt, und daher ist gegen die Wundt'sche Prüfungsmethode nichts einzuwenden. Nur möchte ich doch vorschla-

1) W. Wundt, Akustische Versuche an einer labyrinthlosen Taube. Wundt, Philosoph. Studien. Bd. 9. p. 496.

gen, von ihr erst in zweiter Linie, wenn man sich von dem Hören der Thiere nach meiner Methode bereits überzeugt hat, Gebrauch zu machen.

Die Thiere reagiren auf Schall des Nachts ungemein viel prompter als am Tage. Weshalb? Es scheint mir dies nicht nur daran zu liegen, dass das Nervensystem wohl auch bei den Thieren, ähnlich wie beim Menschen, des Abends und des Nachts viel erregbarer ist, sondern weil die Reactionen besonders durch ein Erschrecken der Thiere ausgelöst werden. Nun ist es aber verständlich, dass die Thiere viel leichter erschrecken, wenn sie nicht gleichzeitig sehen und namentlich nicht einen Menschen, von dem der Schall ausgeht oder ausgehen könnte, wahrnehmen. Gelingt es am Tage sich von hinten einer Taube zu nähern, ohne dass sie darauf aufmerksam wird, so reagirt sie auf den hinter ihr erzeugten Schall ungleich besser, als wenn man vor ihr steht. Bei solchen Beobachtungen bemerkt man ein merkwürdiges Verhalten der labyrinthlosen Tauben. Sie verfolgen nämlich beständig den im Zimmer anwesenden Menschen mit den Augen, und wenn sie sich in einem Käfig mitten im Zimmer befinden, ist es daher auch bei ihnen viel schwerer als bei einer normalen Taube unbemerkt hinter sie zu gelangen. Ich habe zuweilen stundenlang in der Nähe eines grösseren Käfigs zu thun gehabt, in dessen verschiedenen Abtheilungen 6 labyrinthlose Tauben untergebracht waren. Die Querwände und Böden des Käfigs liessen nur dünne Spalträume zwischen sich frei. Ich mochte nun so lange warten, wie ich wollte, jedesmal, wenn ich mein Auge zum Käfig richtete, konnte ich durch irgendwelche Spalten 6 Augen sehen. Jede Taube beobachtete mich unausgesetzt mit einem Auge. Häufig waren dabei die Augen schwer zu finden, denn da die Tauben ganz bewegungslos da standen, und ich ihren Körper nicht, oder nur zum kleinsten Theil, sehen konnte, so musste ich zuweilen die Augen erst einige Zeit suchen. Auf den Unbefangenen machten die Thiere den Eindruck, sehr neugierig zu sein, in Wirklichkeit handelt es sich offenbar um ein besonderes Misstrauen und ein instinctiv erhöhtes Aufpassen mit den Augen, nachdem ihr Höhrvermögen namentlich qualitativ doch wohl sehr herabgesetzt ist. Setzt man daher am Tage eine normale Taube und eine labyrinthlose, welche des Abends unter den oben angegebenen Bedingungen ausnahmslos auf das gedehnte tiefe „Uh“ reagirt, in

offenen Käfigen mitten in ein Zimmer und beobachtet man die auf dieses „Uh“ hin auftretenden Reactionen beider Thiere, so wird man zwar bei beiden Thieren häufig einen völligen Mangel einer Antwortsbewegung finden, häufiger aber noch bei der labyrinthlosen Taube.

Will man am Tage promptere Reactionen erzielen, so muss man durch besondere Vorkehrungen dafür sorgen, dass man die Tauben beobachten kann, ohne selbst von ihnen gesehen zu werden, und auch ohne dass sich irgend eine andere Person, ein Hund oder was sonst ihre Aufmerksamkeit fesselt, im Bereich ihres Gesichtskreises befindet. Die Dunkelkappe ist für diese Versuche nur zu verwenden, falls das Thier bereits seit längerer Zeit an dieselbe gewöhnt ist, denn sonst wirkt sie auf die Reactionen hemmend. Gelingt es unter solchen Umständen, das gedehnte tiefe „Uh“ auch am Tage immer wieder unerwartet auf die Thiere wirken zu lassen, so reagiren sie fast regelmässig und nun stellt sich dabei die scheinbar paradoxe Thatsache heraus, dass die Reactionen bei den labyrinthlosen Tauben häufiger als bei normalen Thieren sind. Bedenkt man indessen, dass eine Reaction doch die Function nicht nur der Schallwahrnehmung, sondern auch des Interesses, das das Thier an die betreffende Wahrnehmung knüpft, ist, so wird es fast selbstverständlich, dass die schwerer und wahrscheinlich in abnormer Weise hörende Taube, welche zudem von dem beständigen Tagesgeräusche nicht berührt wird, durch die unerwartet entstehenden Wahrnehmungen häufiger zu Bewegungen veranlasst wird als das normale Thier. Ich möchte eine Versuchsreihe aus dem Jahre 1892 hier erwähnen:

Eine normale und eine labyrinthlose Taube standen in offenen Käfigen, doch ohne sich gegenseitig sehen zu können, mitten auf einem Tisch in einem kleinen Zimmer, das auf zwei gegenüberliegenden Seiten Thüren hatte. Letztere liess ich für den leichteren Durchgang des Schalles handbreit offen stehen, verhängte jedoch diese Spalten mit langen Tüchern, weil sonst die Aufmerksamkeit der Thiere darauf gerichtet gewesen wäre. In jeder Thür befand sich ein kleines Loch, durch welches ich die Tauben beobachten konnte. Ich näherte mich völlig geräuschlos abwechselnd der einen, dann der anderen Thür, und wenn beide, oder wenigstens eine Taube, sich in völliger Ruhe befand, so liess ich das gedehnte tiefe „Uh“ erschallen und notirte das Resultat. Das unruhig gewesene

Thier blieb dabei unberücksichtigt. Es wurde jedesmal nur ein Mal gerufen und an einem Vormittag stellte ich nur höchstens 6 Prüfungen dieser Art an. Diese durch Wochen fortgesetzten Beobachtungen wurden abgeschlossen als jede Taube 100 Mal in völliger Ruhe angetroffen worden war. Die normale Taube hatte 78 Mal überzeugend, 5 Mal in nicht ganz einwandfreier Weise reagirt, die labyrinthlose Taube 91 Mal überzeugend und kein Mal in zweifelhafter Weise.

Wundt[1]) hat sich die Mühe gegeben, die einzelnen Hörprüfungen zahlenmässig zusammenzustellen, und es fiel mir beim Lesen seiner Arbeit sofort auf, dass die labyrinthlose Taube kein grösseres Uebergewicht in Bezug auf die Zahl der guten Reactionen über die normale Taube aufweist. Es liegt dies wohl daran, dass Wundt die einzelnen Prüfungen viel dichter an einander legte als es in meinen Versuchen geschah, und wohl auch den Schall nicht so unerwartet wie ich auf die Thiere wirken liess. Ein geringes Uebergewicht der labyrinthlosen Taube über die normale geht übrigens auch aus Wundt's Prüfungen hervor, worüber Herr Bernstein glaubt witzeln zu dürfen indem er sagt: „Und — o Wunder! — die labyrinthlose Taube hat mindestens eben so gut gehört wie die normale, wie Herr Wundt ausdrücklich anführt. Ja es ergibt sich sogar aus der von Herrn Matte gemachten Zusammenstellung von neun Versuchstabellen aus der Wundt'schen Arbeit, dass die labyrinthlose Taube besser gehört haben müsste als die normale. Wer sollte da, wenn er durch solche Versuche von der Möglichkeit des Hörens ohne inneres Ohr überzeugt ist, nicht auch an das Lesen mit der Magengrube oder ähnliche Wunder glauben!" Dieser Ton passt ganz zu dem Verständniss, das Herr Bernstein der ganzen Sache entgegenbringt.

Von allen Schallarten, die man zu Gehörprüfungen verwenden kann, ist der Knall am wenigsten geeignet. Unter den Knallgeräuschen ist aber wieder der Schuss ein besonders ungünstiges Prüfungsmittel. Herr Matte, auf dessen Versuche Herr Bernstein einzig seine Angriffe stützt, hat „nur die Schussreaction als zuverlässig angenommen."!

Da ja alles darauf ankommt, bei den Thieren das Fühlen der Luftbewegung mit dem Tastsinn auszuschliessen, so leuchtet

1) l. c.

es von vornherein ein, wie irrationell es ist, sich zu den Gehörprüfungen eines Mittels der Schallerregung zu bedienen, durch welches gleichzeitig mit der Erzeugung des Schalles ein grosses Luftvolumen erzeugt wird. Beim Abschiessen eines Zündhütchens, was die mildeste Form des Schusses darstellt, — Herr Matte sagt nicht, was für Schüsse seine „Zimmerpistole" hervorbrachte, — überzeugt man sich leicht von der starken, dabei auftretenden Luftbewegung. Richte ich den Lauf einer alten Reiterpistole, bei der der Hahn auf ein Zündhütchen gewöhnlicher Grösse schlägt, gegen einen an Fäden aufgehängten Bogen Seidenpapier, so zerfetzt das Gas des Zündhütchens das Papier, selbst wenn der Lauf einen Abstand von 20 cm von demselben hat. In der Entfernung von beinahe 1 Meter wird ein brennendes Stearinlicht ausgeblasen, bei 4—5 Meter Entfernung kann man noch die Bewegung des Lichtes oder des aufgehängten Papierbogens wahrnehmen. Es ist allerdings richtig, dass diese Wirkungen nur in der Richtung des Laufs von solcher Stärke sind, aber von dieser Gegend vor dem Lauf aus muss sich natürlich eine mächtige Luftbewegung durch das ganze Zimmer verbreiten.

Doch auch abgesehen von dieser Luftströmung, die speziell der Schuss hervorbringt, ist der Knall überhaupt ein ganz unbrauchbares Mittel zur Untersuchung der Hörfähigkeit. Nicht nur die Tauben, sondern überhaupt die meisten Thiere reagiren schlecht auf den Knall. Es liegt dies vielleicht an der kurzen Dauer dieses Geräuschs. Frösche sollen durch einen Knall gar nicht in ihren Bewegungen zu beeinflussen sein. Vögel lassen sich durch Knall häufig gar nicht aus ihrer Ruhe stören, fliegen dann aber sofort auf, sobald man pfeift. Affen, die ich untersuchte, verzogen nicht die Miene, wenn ich am Tage in ihrer Nähe eine Pistole abschoss. Man brauchte aber nur auf einer kleinen Trompete zu blasen, um durch die wilde Beantwortung dieses Schalles von ihrem Hörvermögen überzeugt zu werden. Selbst Hunde reagiren, falls sie noch keine besonderen Erfahrungen mit ihm gemacht haben, recht unregelmässig auf den Knall. Im Augenblick interessiren uns hier besonders die Tauben, und bei ihnen ist der häufige Mangel einer äusserlich sichtbaren Bewegung, wenn ein Knall oder ein Schuss in ihrer Nähe erschallt, ganz besonders auffallend.

Erfahrungen über das Ausbleiben einer Reaction auf Knall sind keineswegs von mir allein gesammelt worden. Physiologen,

Ohrenärzte, Jäger und Thierliebhaber konnten mir ähnliche Beobachtungen mittheilen und ich bin deshalb auch nicht näher auf diese Verhältnisse bisher eingegangen. Jeder Physiologe zumal kann sich leicht über die Wirkung des Knalles auf die Thiere des Laboratoriums orientiren.

Bei seinem Mangel an Erfahrungen war es also ein böser Zufall, welcher Herrn Matte unter allen möglichen Schallarten gerade diejenige wählen liess, welche für Gehörprüfungen am ungünstigsten ist, nämlich den Schuss. Und aus diesen, mit Hilfe der Schussreaction angestellten Hörprüfungen hat dann Herr Bernstein die stumpfen Waffen für seinen Angriff geschmiedet. Er betont, wie Recht Herr Matte gethan habe, auf die „zweifelhaften Hörprüfungen", die Wundt und ich angestellt hätten, sich nicht zu verlassen, sondern „nur" die Schussreaction als zuverlässig anzunehmen. Die wenig wissenschaftliche Einseitigkeit, auch nicht einen einzigen Versuch mit einer anderen Schallart als dem Schuss für den Beweis der völligen Taubheit zu verlangen, fällt um so mehr auf, als es sich doch um einen Angriff gegen andere Beobachtungen handelt. Aber die auf den Schuss nicht reagirende Taube [1]) ist in der Fantasie des Herrn Bernstein „absolut taub" und da bedarf es dann weiter keines Beweises, um zum Angriff überzugehen.

Herr Bernstein sucht seine Angriffe auch auf Hern Matte's mikroskopische Befunde am Octavusstamm zu stützen. Ich gehe hierauf nicht näher ein. Denn es handelt sich hier in erster Linie um die Thatsache, dass die labyrinthlosen Thiere auf Schall reagiren, „womit" sie hören, das kommt erst in zweiter Linie in Betracht.

Die Degenerationen, welche unter Umständen einen Theil des Octavusstammes verändern, sind doch auch noch nicht an demselben Abend nach der Operation vorhanden und können daher für die gerade sehr wichtigen Prüfungen zu dieser Zeit ganz unberücksichtigt bleiben. Hingegen möchte ich noch auf die Bedeutung der Trommelfelle, welche ja zum Endapparat des Nervus octavus gehören, mit einigen Worten eingehen und ausführlicher als bisher geschah ihre

1) Wie schon oben bemerkt, reagiren gut operirte labyrinthlose Tauben auch auf Knall, was natürlich nicht hindert, dass die Thiere des Herrn Matte vielleicht wirklich taub waren.

Zerstörung oder Entfernung schildern. Es gelingt auf völlig unblutigem Wege, vom äusseren Gehörgange aus die Trommelfelle rings um die Columella herum zu durchtrennen. Die letztere bleibt dann als allseitig freies Stäbchen im Ohr stecken. Es mögen die Tauben nach diesem doppelseitig ausgeführten Eingriffe weniger gut hören. Ich habe es noch nicht untersucht, und es würde auch wohl schwer festzustellen sein. Wichtig ist vorläufig nur die Thatsache, dass die Thiere nach dieser Zerstörung der Trommelfelle keine Bewegungsstörungen zeigen.

Zieht man aber die beiden Columellen bei gleichzeitiger Zerstörung oder Erhaltung der Trommelfelle aus den ovalen Fenstern heraus, so beobachtet man sogleich eine deutliche Herabsetzung des Flugvermögens, Unlust, sich zu bewegen, schnell eintretende Ermüdung und andere Labyrinthstörungen in schwacher Form, welche nach meinen bisherigen Erfahrungen nie wieder ganz zurückgehen und jedenfalls sehr lange Zeit nachweisbar bleiben Diese Bewegungsstörungen sind qualitativ denen durchaus ähnlich, welche nach jeder Operation an der Schnecke auftreten, bleiben aber wohl in Bezug auf die Stärke hinter ihnen zurück.

Entfernt man nach meiner Methode die Labyrinthe vollständig, so wird zugleich auch stets die Columella fortgenommen. und wenn man dann von aussen durch den äusseren Gehörgang ein möglichst dickes, stumpfes Instrument in die Paukenhöle einführt, so zerreisst das Trommelfell in ausgedehntem Maasse. Man kann dann die Fetzen mit der Pincette fassen, nach aussen herausziehen und mit der Scheere abschneiden. Eine vollständige Entfernung des Trommelfells gelingt aber auf diese Weise nicht. Hierzu muss man sich immer auf blutigem Wege Platz verschaffen und das Trommelfell in ganzer Ausdehnung freilegen. Es geschieht dies in verschiedener Weise, alle Methoden laufen aber darauf hinaus, die zwischen dem Occiput und dem Unterkieferrande ausgespannte breite Membran, welche den freien Zugang zum Trommelfell behindert, zu durchtrennen.

A. Man erweitert die äussere Gehöröffnung durch einen Schnitt durch die Haut und die erwähnte Membran nach hinten und unten.

B. Es wird ein halbkreisförmiger Hautschnitt hinten um die äussere Gehöröffnung herumgelegt, und dann die Haut nach vorn umgeschlagen. Man legt die erwähnte Membran frei und durchschneidet sie durch einen Schnitt von vorn nach hinten.

C. Die bei weitem beste Methode, welche man ohnehin stets anwenden wird, falls gleichzeitig das Labyrinth entfernt werden soll, besteht in der Abtragung des occipitalen Randes, mit dem die Membran am Schädel angeheftet ist. Bis zu diesem Rande legt man die Ohrhöhle stets frei, wenn man das ganze Labyrinth herausnehmen will, und nun braucht man nur noch weiter nach unten vorzudringen und die betreffende Membran vom Knochen abzutrennen. Man übersieht dann das Trommelfell in seiner ganzen Ausdehnung, und es ist ein Leichtes, mit Pincette und Scheere, oder mit dem Galvanokauter es vollständig abzutragen.

Für das Hören der labyrinthlosen Taube ist das Trommelfell von keiner Bedeutung, wie ich schon früher angegeben habe.

Ein merkwürdiges Zusammentreffen ist es, dass, während Herr Bernstein gegen die Hörfähigkeit der labyrinthlosen Tauben kämpft, ich mich schon Monate lang damit abquäle, eine stocktaube Taube herzustellen. Es muss damals, als ich meine erste Mittheilung über diesen Gegenstand veröffentlichte, ein günstiger Zufall mir zu Statten gekommen sein, der mich gerade das richtige Quantum Arsenpaste [1]) auf die Octavusstümpfe bringen liess. Jetzt will mir dies nicht mehr glücken. Entweder bekommen die Thiere zu den Labyrinthsymptomen noch schwere andere Störungen, woraus ich dann auf ein Zuviel der eingebrachten Paste schliesse oder die Thiere zeigen im umgekehrten Falle nach dem Auftragen der Paste auf alle 5 Octavusstümpfe zwar nur die Labyrinthstörungen, haben dann aber auch noch ihre Hörfähigkeit behalten. Da läge es, meine ich, nicht nur im Interesse der Wissenschaft, sondern auch in dem persönlichen Interesse von uns beiden, wenn Herr Bernstein mit mir eine labyrinthlose Taube austauschen wollte. Mir wäre mit einer stocktauben Taube im Augenblick ausserordentlich gedient, und ich würde Herrn Bernstein für die Ueberlassung derselben aufrichtig dankbar sein.

Ich würde Herrn Bernstein dagegen eine von meinen labyrinthlosen Tauben senden, wie ich Wundt eine solche Taube und anderen Physiologen andere gesandt habe [2]). Herr Bernstein

1) Es ist dies dieselbe Paste, welche die Zahnärzte zum Abtödten der Nerven benutzen. Man erhält dieselbe von Ash u. Son, Berlin, Jägerstr. 68.

2) Diese Gelegenheit sei benutzt, um meine Bereitwilligkeit anderen Physiologen die Ausführung meiner Operation mit allen Einzelheiten zu zeigen, auszusprechen.

wird in meiner Taube auch mit Hilfe von Herrn Matte keine Reste der Labyrinthe entdecken können und sich leicht von der Hörfähigkeit des Thieres überzeugen. Meine Angaben über die Hörprüfungen sind so deutlich, und diese Prüfungen sind auch so einfach anzustellen, dass es für jeden — natürlich eine gut operirte Taube vorausgesetzt — selbst bei der grössten Unerfahrenheit auf diesem Gebiete ein Leichtes ist, absolut beweisende Reactionen zu erhalten. Durch den vorgeschlagenen Tausch würde also Herrn Bernstein in gleicher Weise wie mir ein Dienst geleistet, indem wir in den Besitz eines Thieres kämen, das wir uns selbst nicht beschaffen können.

Herr Bernstein hat eine Kritik meiner Entdeckung, dass labyrinthlose Tauben noch auf Schall reagiren, ausgesprochen, welche mich vernichten müsste, wenn sie begründet wäre. So aber sind seine Angriffe auf Beobachtungen gestützt, welche mit einer völlig unbrauchbaren Methode an gänzlich unbrauchbarem Material ausgeführt wurden. Der von ihm erhobene Vorwurf der leichtfertigen wissenschaftlichen Behauptung trifft daher jedenfalls nicht mich.

Nochmals über Methylenitan und Formose.

Von

O. Loew.

In Bd. 19, Heft 4 und 5 der Zeitschrift für physiologische Chemie findet sich in einer grösseren Abhandlung Araki's über „die chemischen Aenderungen der Lebensprozesse in Folge von Sauerstoffmangel" ein Irrthum, welcher mich zu einer Berichtigung zwingt. Auf Seite 461 steht nämlich:

„Das Gemenge von Kohlehydraten, welches zuerst von Butlerow aus Formaldehyd durch Einwirkung von Kalk dargestellt, von demselben Methylenitan genannt, darauf von Loew nach einem verbesserten Verfahren gewonnen als Formose bezeichnet, von E. Fischer einer eingehenden Untersuchung unterworfen ist, hat Loew auf sein Verhalten gegen Aetzbaryt geprüft" etc.

Die erste Unrichtigkeit ist hier, dass behauptet wird, das Methylenitan von Butlerow sei dasselbe wie meine Formose. Butlerow hat bei einer seiner zwei Analysen sogar fast volle 4 % Kohlenstoff mehr gefunden als ich und leitete bekanntlich die Formel $C_7H_{14}O_6$ für sein Product ab. Ich habe nie bestritten, dass man bei sehr vorsichtiger Operation auch nach Butlerow's Methode ein unzersetztes Product erhalten könne, aber da das Product, besonders bei alkalischer Reaction der Flüssigkeit sehr leicht veränderlich ist und schon bei ca. 90° im concentrirten Zustand unter Wasserabspaltung sich zu verändern anfängt, so ist es nicht zu verwundern, dass Butlerow, welcher mit seinen geringen Mengen Methylenitan nicht viele Versuche anstellen konnte, ein partiell zersetztes Product in Händen hatte. Gieng es ja doch Tollens ebenso!

Ich habe aber, nachdem ich beobachtet hatte, wie leicht der süss schmeckende Körper einen bitteren Geschmack annimmt, ganz besondere Vorsicht walten lassen, um ein farbloses, unzersetztes, rein süss schmeckendes Product zu erhalten. Bei sehr vorsichtigem Trocknen bis zu constantem Gewicht erhielt ich schliesslich ein farbloses oder höchstens einen leisen Stich ins Gelbliche

zeigendes Product, welches genau auf die Formel $C_nH_{2n}O_n$ stimmte. Diesen unzersetzten Körper kann doch kein logisch denkender Chemiker für identisch mit den partiell zersetzten halten!

Tollens hat das Verdienst, die Reductionsfähigkeit für Fehling's Lösung festgestellt zu haben; dieselbe betrug etwa $^1/_4$ derjenigen der Glucose. Mein Product aber hatte fast genau dieselbe Reductionsfähigkeit wie Glucose. Ist es nicht ein Unsinn, beide Producte für identisch zu erklären? Butlerow selbst hatte, wie es schien, zu wenig Material, um eine solche Bestimmung auszuführen. Ich hatte mir im Ganzen etwa 500 gr Formosesyrup dargestellt, fractionirte Fällungen mit Alkohol und Aether hergestellt und auch diese Fractionen auf Reductionsfähigkeit für Fehling's Lösung geprüft und keine erheblichen Unterschiede bei den Fractionen entdecken können, es konnte also ausser Zuckerarten nichts Anderes vorhanden gewesen sein.

Die zweite Unrichtigkeit liegt darin, dass Araki behauptet, erst E. Fischer habe „eingehende" Untersuchungen angestellt. Und doch habe ich selbst bereits so viele Beobachtungen über die Formose mitgetheilt, dass für jeden vorurtheilsfreien Mann die Zuckernatur zweifellos festgestellt war. Ich habe gezeigt, dass beim Kochen mit Säuren Huminsubstanzen (über 30% der Rohformose!), ferner Furfurol und Ameisensäure entstehen[1]), wie bei den Zuckerarten; ich zeigte, dass unter Wasserstoffaddition ein nicht mehr reducirender Körper — wie bei Zuckerarten entsteht; ich zeigte, dass Blausäure aufgenommen wird, dass mein Product selbst in kleinsten Mengen die Zuckerreaction von Molisch gibt und bei Behandlung mit 7,5 prozentiger Salzsäure nach Sieben sich das Product weit eher als eine Ketose erweist, als eine Aldose.

Was nun die Molecularformel betrifft, so musste die Formel $C_6H_{12}O_6$ schon deshalb die richtige sein, weil die Reductionsfähigfür Fehling's Lösung dieselbe ist, wie für Glucose, sie wurde ferner durch die Zusammensetcung der Bariumverbindung bewiesen, welche der Formel $BaOC_6H_{12}O_6$ entsprach und ging auch daraus hervor, dass beim Erhitzen auf 120° bis zu constantem Gewicht ein bitter schmeckendes Product von der Formel $C_6H_{10}O_5$

1) Die Bildung von Laevulinsäure scheint an specielle Configuration der Zuckerarten gebunden zu sein.

resultirte. — Man hat ja auch die Molecularformel der Dextrose und Laevulose aus deren Metallverbindungen berechnet und diese Formeln dann als richtig acceptirt — lange bevor die Osazone bekannt waren. Was ein Zucker ist, konnte man auch vor der Entdeckung der Osazone feststellen, deren Bedeutung für die Erforschung der Zuckerarten ich indessen ebenso würdige, wie jeder Andere. Das Bazon der Formose ist, wie ich leider zu spät gefunden habe, fast ebenso empfindlich wie der Zucker selbst gegen höhere Temperatur und deshalb stimmten meine Resultate nicht auf die normale Osazonformel. E. Fischer trocknete sein Osazon lediglich über Schwefelsäure und erhielt die richtigeren Zahlen.

Was schliesslich den weiteren Befund E. Fischer's betrifft, dass mein Product nicht einheitlich, sondern aus 3 Hexosen bestehe, so wurde auch dieses Factum viel zu sehr zu meinem Nachtheil ausgebeutet; denn ich fand nachher mittelst Fischer's Osazonmethode, dass zwei Zuckerarten nur in sehr untergeordneter Menge vorhanden sind, und die reine Formose, der Hauptbestandtheil, über 80 % ausmacht! Die Menge der letzteren nimmt aber bei grosser Verdünnung des Formaldehyds ab.

Es kann doch keinem Zweifel unterliegen, dass ich zuerst erkannt habe, dass wahre Zuckerarten durch Condensation von Formaldehyd erhalten werden können, und dass ich zuerst ein synthetisches Product erhalten habe, bei dem ich auch die Fähigkeit der alkoholischen Gährung[1]) erkannte. Denjenigen, der sich hiervon überzeugen will, verweise ich auf meine Mittheilungen in den Berichten der „Deutschen chemischen Gesellschaft" 20, 142 und 3042, ferner Ibidem 22, 477 und 481, „Landwirthschaftliche Versuchsstationen" 41, 132 und „Journal für practische Chemie" 33, 322.

Emil Fischer hat so viele brillante Entdeckungen gemacht, und in Folge dessen bereits den ersten chemischen Posten in Deutschland erreicht, so dass es wahrlich nicht nöthig ist, ihm auf Kosten Anderer noch weitere Verdienste in die Schuhe zu schieben Suum cuique!

---

1) Es war die von mir isolirte Methose, welche E. Fischer dann identisch mit i-Fructose erklärte.

Die Form des Himmelsgewölbes.

Von

Wilhelm Filehne.

Von jeher ist es aufgefallen, dass Sonne und Mond am Horizonte grösser erscheinen, als wenn sie hoch am Himmel stehen. Jedem, der mit dem gestirnten Himmel näher vertraut ist, fällt auch noch auf, dass die scheinbare Grösse eines Sternbildes, wenn es nahe dem Zenithe culminirt, wesentlich geringer ist, als wenn es 12 Stunden später (oder zur selben Nachtzeit 6 Monate später) auf der entgegengesetzten Seite des Polarsternes tiefen Stand am Himmel hat. Ueberhaupt erscheinen am gestirnten Himmel die gleichen Winkelstücke dem Auge um so grösser, je grösser die Zenithdistanz eines betrachteten Sternpaares ist. Hiernach kann eigentlich kein Zweifel bestehen, dass die scheinbaren Grössenunterschiede von Mond und Sonne je nach ihrem Stande am Himmel nur Spezialfälle eines für alle Bildobjekte des Himmels giltigen Gesetzes darstellen. Wenn bei den physiologischen Erklärungsversuchen dieser Erscheinung immer nur von Sonne und Mond gesprochen wird, so liegt dies wohl daran, dass die Sonne und der Mond in ihrer scheinbaren Grösse jedem bekannt und von jedem als einheitliche Bildobjekte aufgefasst werden, während die scheinbare Entfernung zweier Fixsterne und die scheinbare Grösse der Sternbilder den meisten Menschen nicht geläufig sind, und die Sternbilder ohne nähere Kenntniss auch nicht als einheitliche Bildobjekte gewürdigt werden. Ich glaube, dass diese Beschränkung auf Mond und Sonne der richtigen Auffassung der Erscheinung hinderlich gewesen ist.

Wenn uns nun am Himmel alle Winkel um so kleiner erscheinen, je näher sie dem Zenithe und um so grösser je näher sie dem Horizonte, so versteht es sich von selbst, dass das Himmelsgewölbe, wenn wir es als ein Ganzes betrachten, uns nicht etwa als die Hälfte einer Kugel erscheinen kann, in deren Mitte wir uns befänden. Vielmehr erscheint es im Zenithe abgeflacht, „uhr-

glasförmig." Die einfachsten Fälle solcher Formen wären nun 1. eine Kugelcalotte, 2. ein (halbes) Ellipsoid, welches durch Rotation einer Ellipse um ihre kleine Achse entstanden zu denken wäre. Die meisten neueren medizinischen Autoren, die von der scheinbaren Form des Himmels sprechen, bezeichnen sie als ellipsoid; die Astronomen und Physiker nehmen einen Kugelabschnitt an. Helmholtz hat es vermieden, irgend eine bestimmte Form zu statuiren und sagt[1]: „Die doch immer sehr vage, unbestimmte und veränderliche Vorstellung von der flachkuppelförmigen Wölbung des Himmels."

Aber die Uhrglasform zeigt der Himmel nur, wenn wir ihn im Freien als ein Ganzes betrachten, — und nur dies ist das Problem, von dem ich in den folgenden Ausführungen handeln will. Denn wie Helmholtz[2]) gezeigt hat, ist die scheinbare Gestalt des Himmels eine sehr wechselnde, je nachdem das Stück das wir von ihm sehen, von verschiedenen irdischen Gegenständen eingefasst ist, zumal wir eine Neigung haben, ihn bei ruhiger, binocularer Fixation eines Punktes für eine auf die jedesmalige Blicklinie senkrechte Ebene zu halten. Wer daher seine Aufmerksamkeit speziell auf den Horizonttheil des Himmels richtet, sieht ihn senkrecht hoch vom Horizont aufsteigen.

Erscheint der Himmel im Zenith abgeflacht, so bedeutet dies, dass er im Zenith uns näher erscheint als am Horizonte. Und schon Ptolemäus (um 150 n. Chr. Geb.) und die arabischen Astronomen haben die Erklärung gegeben, dass der Mond am Horizonte uns deswegen trotz gleicher Winkelgrösse (eigentlich trotz geringerer Winkelgrösse; denn wegen der atmosphärischen Strahlenbrechung ist er im verticalen Durchmesser etwas verkleinert und überdies ist er am Horizonte, wie eine einfache geometrische Construction ergibt, um einen vollen Erdhalbmesser vom Beobachter weiter entfernt, als wenn er im Zenith steht) grösser erscheint, weil er uns weiter entfernt zu sein scheint als im Zenith. Die Frage lautet also: Warum erscheint uns der Himmel im Horizonte weiter entfernt als im Zenith? Helmholtz[3]) sagt: „Es sind eine Menge Motive dafür angeführt worden, warum

1) Handbuch d. phys. Optik. I. Aufl. 1867. S. 631.

2) l. c. 630.

3) Ebenda.

dies so sei; ich glaube auch, dass nicht nur eines, sondern viele Motive dahin zusammenwirken, wobei freilich schwer auszumitteln ist, welches das überwiegende in jedem einzelnen Falle sei." Die landläufigen, allgemein adoptirten Auffassungen sind nun folgende drei: 1. Wenn der Mond oder die Sonne sich am Horizonte befinden, so vergleichen wir sie, wird gesagt, mit entfernteren Gegenständen unseres Horizontes, Häusern, Baumkronen u. s. w., die wir unter gleichen Winkeln sehen, und daher erscheinen uns der hinter ihnen, also noch weiter entfernt liegende Mond, Sonne, mehr als häusergross u. s. w., während sie in oder näher dem Zenithe, wo uns jene Vergleiche fehlen, nicht so gross erscheinen sollen. An diese Erklärungsweise schliesst sich 2. die, nach welcher die Entfernung zwischen Auge und Horizontkreis im Vergleiche zur Himmelshöhe aus demselben Motive grösser erscheine, aus welchem eine quer-gestrichelte, abgetheilte Linie länger zu sein scheint, als eine gleichlange nicht abgetheilte Linie. Die Objecte des (irdischen) Horizonts sollen also den Horizont grösser erscheinen lassen als ihm gebührt, und so die Horizontpartie des Himmels hinausrücken. 3. Helmholtz, der namentlich auch noch die unter Nr. 1 erwähnte Vergleichung als mitwirkend heranzieht, hat besonders die Luftperspective in ihrer Bedeutung hervorgehoben. Ferne Berge erscheinen um so näher und werden von uns bei gegebener Sehwinkelgrösse dementsprechend für um so niedriger gehalten je klarer die Luft; sie erscheinen um so entfernter und demgemäss um so höher je dunstiger, nebliger die Luft ist. Andere Autoren haben in Uebereinstimmung hiermit auch die bekannte Erscheinung der riesigen Vergrösserung menschlicher Gestalten im Nebel herangezogen. Weil im Nebel die Gestalten undeutlich erscheinen, halten wir sie für sehr entfernt, und in Anbetracht des grossen Gesichtswinkels für sehr gross. Nun hat bekanntlich das Licht der Himmelskörper, wenn sie dem Zenithe nahe sind, nur eine sehr niedrige Dunstschicht kurz zu passiren, während die Strahlen vom Horizonttheile des Himmels her lange Strecken der unteren dunstigen Partieen unserer Atmosphäre mehr tangential zu passiren haben: — lauter Dinge also, wie sie für das Rothwerden des Lichtes von Sonne und Mond bei Auf- und Untergang in Betracht kommen. Eben diese Umstände sollen also auch Sonne und Mond grösser, und also auch den Himmel am Horizonte entfernter, gedehnter erscheinen lassen. Nun führt aber Helmholtz zwei Beobachtungen

vor, welche die bis hierher in der Darstellung von mir festgehaltene Identität der Frage von der scheinbaren Form des Himmels und der Frage der scheinbaren variabelen Grösse des Mondes und der Sonne am Himmel erschüttert: „Auch scheint mir," sagt Helmholtz[1]), dass die scheinbare Vergrösserung am Horizonte viel bemerklicher am Monde auftritt als an der Sonne, die, wenn man ihre Gestalt überhaupt noch erkennen kann, gewöhnlich auch noch hell genug ist, dass man sie nicht ganz bequem betrachten kann, und dass sie also auch nicht unmittelbar mit den irdischen Objecten des Horizontes auf eine Linie gestellt werden kann. Bei recht klarem Himmel ist aber die Täuschung auch für den Mond nicht gerade sehr evident. Sie hängt immer in sehr hohem Grade vom Zustande der Atmosphäre ab." Eine andere Bemerkung Helmholtz's ist folgende: „Wenn man mittels einer planparallelen Glastafel ein Reflexbild des Mondes entwirft, welches scheinbar nahe am Horizont gelegen ist, so finde ich nicht, dass dasselbe entschieden grösser aussieht, als der direct gesehene Mond oben am Himmel, obgleich man die scheinbare Grösse des reflectirten Bildes dann leicht mit den gleichzeitig gesehenen irdischen Körpern vergleichen kann. Es fehlt aber dem Spiegelbilde das Aussehen, als sei es durch den dunstigen Theil der Atmosphäre gesehen." Wie man sieht, erschüttert letztere Beobachtung nicht nur die von Helmholtz selber herangezogene, oben unter Nr. 1 gegebene Erklärung (Vergleichung des Mondes mit irdischen Gegenständen), sondern sie lässt die scheinbare Grösse des Mondes von der Stelle, die er am uhrglasförmigen Himmel einnimmt, unabhängig und mehr noch als die der Sonne von der Luftsperspective abhängig werden, welche nach Helmholtz das für unsere Erscheinung wesentlich Bestimmende ist. Die Himmelsform wird danach ebenfalls irgendwie hauptsächlich von der Luftperspective bedingt. Für die Himmelsform hat aber Helmholtz unmittelbar vor der citirten Stelle noch folgende mehr beiläufig gegebene Betrachtung. Nachdem er hervorgehoben, dass kein optisch-physiologischer oder psychologischer Grund vorliege, den Sternhimmel als Halbkugel zu sehen und wir ihm sehr wechselnde Formen beilegen können, fährt er fort: „Ganz anders ist es mit dem Wolkenhimmel. Die Wolken sind meistens zwar auch weit genug von uns entfernt,

---

1) l. c. S. 631.

dass wir mittels der Erkennungsmittel, welche das zweiäugige Sehen und die Bewegung unseres Körpers uns gewähren, nichts oder so gut wie nichts über ihre Entfernung ausmachen können. Aber sie sind oft parallelstreifig, sie bewegen sich meistens in gleicher Richtung und mit constanter Geschwindigkeit über das Himmelsgewölbe hin; sie erscheinen in der Nähe des Horizontes strichförmig, von der hohen Kante gesehen und so beleuchtet, dass man sie als perspectivisch verkürzte horizontal gedehnte Körper erkennen kann. Alles das kann dazu dienen, uns erkennen zu machen, dass die wahre Form des Wolkenhimmels, wenigstens im Zenith, ein sehr plattes Gewölbe ist. Am Horizont freilich verlassen uns diese Hülfsmittel, und da erscheinen dann die Wolken wie die Berge, gleichmässig auf eine von oben nach unten ansteigende und allmählich sowohl in den Erdboden wie in das Himmelsgewölbe übergehende Fläche gemalt zu sein. Da wir nun kein Mittel der sinnlichen Anschauung haben, um die Entfernung des Wolkenhimmels von der des Sternenhimmels zu trennen, so scheint es nur natürlich, dass wir dem letzteren die wirkliche Form des ersteren, soweit wir sie unterscheiden können, mit zuschreiben, und dass auf diese Weise die doch immer sehr vage, unbestimmte und veränderliche Vorstellung von der flachkuppelförmigen Wölbung des Himmels entsteht."

Wenn ich nun jetzt dazu schreite, eine Kritik an den Erklärungen zu üben, welche Bezug haben auf die scheinbare Gestalt des Himmels und die wechselnde scheinbare Grösse der Himmelskörper, so möchte ich mir zunächst diese letztere von Helmholtz mehr beiläufig gegebene Auseinandersetzung zu besprechen erlauben. Wie wir gesehen haben, sucht Helmholtz den hauptsächlichen Grund der uns beschäftigenden Täuschungen in der Luftperspective, sodass mit einer Bekämpfung oder einer etwaigen Widerlegung der zuletzt erwähnten Auseinandersetzung die eigentlichen Helmholtz'schen Beobachtungen und Erklärungen in keiner Weise getroffen werden. Was aber jene betrifft, so wird man wohl sagen dürfen, dass ein Durchschnittsmensch, selbst wenn er an dem Wolkenhimmel die Ueberzeugung von einem im Zenith abgeplatteten Gewölbe wirklich gewonnen hätte, keine physiologische Nöthigung hat, beim Anblicke des Sternenhimmels oder des heiteren Tageshimmels dieselbe Form zu *sehen*. Ich meine, eine *Erklärung* von Gesichtswahrnehmungen muss, sei es auf dem

Boden der empiristischen, sei es auf dem Boden der nativistischen Theorie der Raumwahrnehmung, die innere Nothwendigkeit des So-Sehens ableiten, nicht aber den complicirten Inductionsschluss aus einer oder wenigen Einzelerfahrungsn zu Grunde legen. Ueberdies sehen die Menschen den Wolkenhimmel nicht so wie Helmholtz's Beobachtungsgenie ihn sah und richtig deutete. Dass die strichförmigen Wolken eine Eigenthümlichkeit des Himmels nur in der Nähe des Horizonttheiles sind, dass sie von der hohen Kante gesehene platte Wolken sind u. s. w., muss dem Durchschnittsmenschen erst gesagt werden, damit er es überhaupt bemerke. Indess, wie gesagt, dies alles trifft ja nicht das Wesentliche der Helmholtz'schen Darstellung. Wir haben vielmehr die drei oben skizzirten Erklärungsweisen der von uns in's Auge gefassten Täuschungen einer Kritik zu unterwerfen.

Nach der ersten sollten die Himmelskörper (also auch die Sternbilder) am Horizonte deswegen grösser erscheinen, weil wir sie dort mit irdischen Gegenständen vergleichen, was nicht der Fall sei, wenn sie dem Zenithe nahe sind. Ich bestreite die Zulässigkeit dieser Erklärung auf Grund folgender Thatsachen. Hierbei will ich aus Gründen, die später vorgebracht werden sollen, die Helmholtz'sche Beobachtung, dass das von ihm nach dem Horizonte projicirte Bild des hochstehenden Mondes trotz Vergleiche mit irdischen Gegenständen nicht grösser erschien als der Mond oben am Himmel, gegen jene Vergleichungstheorie nicht in's Feld führen. Wie käme man aber dazu, ein Sternbild mit Häusern u. s. w. zu vergleichen? Vollständig widerlegt wird jene Theorie durch Beobachtung des Mondes in Gebirgen, wenn der Mond dem Beobachter zunächst über Höhen sichtbar wird. Im Yosemite-Thal in Californien sah ich den fast vollen Mond heraufkommen über einem schier endlos langen Hange, auf welchem unten vereinzelte Häuser, dann weiter Hütten, Zelte, Bäume u. s. w. bis zu 1000 m Höhe in dem Reste von Licht der eben untergegangenen Sonne erkennbar waren. Der Mond erschien trotz Vergleiche mit irdischen Gegenständen nicht gross, sondern in der Grösse, in der ich ihn bei gleicher Zenithdistanz, die etwa 40 Grad betrug, sonst zu sehen gewöhnt bin. Allerdings war die Luft ungewöhnlich klar, das Licht des Mondes intensiv, — so intensiv, dass man, nachdem es völlig Nacht geworden war, auf der andern Seite des Thales in dem Wasserstaube des Yosemite-Wasserfalles

einen schönen Regenbogen sah. Aber auch in dunstiger, nebliger Atmosphäre habe ich an anderen Orten die gleiche Beobachtung oft genug gemacht. Somit ist die Vergleichungstheorie widerlegt. Ueberdies erscheint der aufgehende Mond auch dann gross, der Himmel uhrglasförmig und die Sternbilder nahe dem Horizonte vergrössert, wenn man sich angesichts eines Horizontes befindet, an welchem Details überhaupt nicht zu sehen sind: z. B. auf glatter See in dunkler Nacht. Hier fällt doch jede Vergleichung fort. Ja, selbst wenn man überhaupt keinen Horizont sieht, bleiben jene Täuschungen bestehen, z. B. wenn auf freiem Felde eine mannshohe Mauer den Horizont verdeckt, oder wenn ich mir auf oder an der See durch ein Geländer u. s. w. (die Hand, der Hut u. dergl. genügen übrigens) den Horizont verdeckte. Ich glaube daher, dass diese Vergleichungstheorie gänzlich fallen gelassen werden muss. Diese meine Behauptungen treten aber in Widerspruch zu einer Angabe E. Hering's[1]) aus dem Jahre 1861. Er sagte: „Was die scheinbare Gestalt des Himmels betrifft, so erscheint er bei Tage, und wenn man die Erdoberfläche mit sieht, nicht als Kugelfläche, sondern von oben nach unten plattgedrückt. Hinter einer Wand aber, die nur so hoch zu sein braucht, dass sie alles irdische verdeckt, steigt mir der Himmel stets senkrecht aus der Erde empor, und bei völlig klarer Nacht erscheint er mir durchaus als Kugelfläche, sobald es so finster ist, dass die irdischen Dinge nur in ihren Umrissen am Himmel, nicht aber körperlich in die Tiefe gesehen werden.“ Kurz vorher steht folgende Aeusserung: „Gründen sich, wie ich gesagt habe, die gesehenen Abstände der Sterne unter sich auf die gegenseitigen Entfernungen ihrer Netzhautbildchen, so muss der Himmel für mein Auge, falls dasselbe hoch genug gerichtet ist, um nicht mehr durch Dinge auf der Erde beeinflusst zu werden, ähnlich gestaltet sein wie die Netzhaut; ein Bild der letzteren kann nur auf einer Kugelfläche so gesehen werden, dass seine räumlichen Verhältnisse sich nicht ändern. Das Himmelsgewölbe ist im günstigen Falle die einfachste durch nichts und insbesondere durch keinerlei anschauliche Erfahrungen beeinflusste Auslegung oder Vorstellung des Gesammtbildes der Netzhaut. Habe ich oben gezeigt, dass in dem Augenschema nur kuglig flache Gemälde ohne Verzerrung auf der Netzhaut abgebildet werden können,

1) Beiträge z. Phys. I. Heft. S. 27.

so zeigt sich nun auch, dass die Netzhaut bei einer durch keinerlei anschauliche Erfahrungen beeinflussten Auslegung ihrer Erregungen die Kugelfläche wirklich wählt."

Nun würde ich nicht wagen, gegen eine Autorität, die E. Hering schon vor 33 Jahren war, so ohne weiteres meine Eindrücke als die richtigeren hinzustellen, wenn ich nicht wüsste, dass ich sicherere Kennzeichen gewählt habe, als er beachtet zu haben angibt. Wenn er sagt, dass ihm bei Verdeckung des Horizontes der Himmel stets senkrecht aus der Erde emporsteigt, so ist einzuwenden, dass dies auch ohne Verdeckung des Horizontes der Fall ist, wenn man seine Aufmerksamkeit auf den Horizonttheil des Himmels richtet, — wie oben bereits erwähnt. Dass man aber in dunkler Nacht eine wirkliche Halbkugel zu sehen glaubt, mag ohne besondere Kennzeichen wohl möglich sein, zumal, wenn man, wie Hering, die Ueberzeugung hegt, dass der Himmel wegen der Form der Netzhaut kugelförmig erscheinen müsse. Da ich aber gesehen habe, dass die scheinbare Grösse eines vergrössert erscheinenden Sternbildes am Horizonthimmel sich absolut nicht verringert, wenn ich mir den irdischen Horizont verdecke, und constatirt habe, dass die Sternbilder im Zenith bei Verdeckung des Horizonts sich nicht vergrössern, so habe ich ein sicheres Kennzeichen, dass ich auch bei verdecktem Horizonte eine Wölbung sehe, die nicht kugelförmig sein kann.

Die Meinung nun, dass der Himmel wegen der Kugelgestalt der Netzhaut kugelförmig erscheinen müsse, war zweifellos ein Irrthum. Er würde uns, allgemein gesagt, als ein Gewölbe auch dann imponiren, wenn die Netzhaut ganz eben wäre. Es ist nämlich überhaupt nicht richtig, dass wir ihn bei ruhendem Blicke als Halbkugel, Kugelabschnitt oder Halbellipsoid sehen. Vielmehr sehen wir in aufrechter Stellung bei ruhendem Blicke immer nur ein Stück Himmel, das uns, wie bereits bemerkt, ganz oder fast wie eine ebene Fläche senkrecht zur Sehrichtung erscheint. Erst wenn wir den Blick wandern lassen und uns, bezw. den Kopf umwenden, entsteht die Vorstellung von der Wölbung. Wie ich hier einer spätern Ausführung vorgreifend andeuten will, stellt also „der gewölbte Himmel" keine aus Gesichtsempfindungen resultirende Wahrnehmung, sondern eine aus successiven Wahrnehmungen unwillkürlich abgeleitete Schlussfolgerung, also gewissermassen eine secundäre Vorstellung dar: Weil uns, wohin auch immer wir,

abgesehen von der bis zur Grenze unseres Sehvermögens ausgedehnt erscheinenden (vermeintlichen) Ebene des Horizontes blicken mögen, — nach oben, vorn, hinten, rechts und links — überall der Himmel sichtbar wird, deswegen halten wir ihn auf Grund unserer sonstigen Erfahrungen für eine über uns gestülpte Glocke, — aber wir „sehen“ ihn bei aufrechter Haltung und ruhendem Blicke nicht als solche. Vermuthlich nimmt auch das Kind oder ein sehend gemachter Blindgeborener den Sehraum überhaupt zunächst ebenfalls nicht als eine Kugel wahr, sondern trotz der kugelförmigen Netzhaut annähernd als eine ebene oder schwach gekrümmte Fläche. Warum sollte auch zwischen zwei Dingen gänzlich verschiedener Ordnung, zwischen unserem seelischen Geschehen und der Form der Netzhaut irgend welche räumliche Analogie bestehen? Sagt doch Hering[1]) selbst, scharfblickend, so schön: „Sehrichtungen nun sind Bestimmungen gewisser räumlicher Relationen der Anschauungsbilder unter sich. Mit dem wirklichen Raume haben sie zunächst nichts zu thun, also auch nicht mit dem wirklichen Körper und dem wirklichen Netzhautbilde.“ Und: „Ganz anders gestaltet sich die Frage nach dem Verhältnisse des subjectiven oder Sehraumes zum jeweiligen Netzhautbilde. Das Netzhautbild ist die letzte uns bekannte Wirkung der wirklichen Dinge auf unseren Körper; was jenseits der Netzhaut geschieht, wissen wir nicht; unsere Kenntniss der objectiv wirklichen Vorgänge hat vor der Hand hier ihre Grenze: weit jenseits dieser wissenschaftlich erforschten Wirklichkeit taucht dann eine subjective Welt auf, eine Anschauungswelt, die zwar die Verhältnisse des Netzhautbildes vielfach wiedererkennen lässt, in mancher anderen Hinsicht aber völlig neue Verhältnisse darbietet.“ Gilt dies schon für die unmittelbaren Wahrnehmungen, wieviel mehr für die aus successiven Wahrnehmungen abgeleiteten Vorstellungen.

Nachdem nun, wie ich glaube, durch die oben vorgeführten Beobachtungen, die Vergleichungstheorie zurückgewiesen ist, wird durch eben dieselben Thatsachen auch die zweite im Eingange kurz skizzirte Theorie hinfällig gemacht, welche auf die Thatsache zurückgreift, dass eine abgetheilte Linie oder Fläche grösser erscheint, als eine gleichgrosse ungetheilte. Denn, da wir gezeigt haben, dass uns das Himmelsgewölbe abgeflacht, Sonne, Mond und

1) l. c. S. 165 und 166.

Sternbilder im Horizonttheile vergrössert auch dann erscheinen, wenn wir den irdischen Horizont, dieses abgetheilte Ausdehnungsmaass, überhaupt nicht sehen, nicht blos nicht in der verticalen, sondern auch nicht in der horizontalen Richtung, so ist diese Theorie ebenfalls widerlegt.

Nun könnte vielleicht Jemand versuchen wollen, diese Vergleichungstheorieen dadurch noch zu halten, dass er zu ihrer Stützung folgende Seitenhypothese aufstellte, — die übrigens bereits vor anderthalb Jahrhunderten thatsächlich von Robert Smith[1]) aufgestellt worden ist: Die scheinbare Grösse, könnte gesagt werden, ist von uns in Folge derartiger immer wiederkehrender simultaner Vergleichung statuirt worden und hat sich als Vorstellung in Folge Angewöhnung so festgesetzt, ist so eingewurzelt, dass wir für jede Stelle des Himmels eine bestimmte Vorstellung von der Grösse des Mondes resp. der Entfernung des Himmels in uns haben und auch bei verdecktem Horizonte reproduciren. Eine physiologisch oder psychologisch absolut unzulässige Auffassung! Das wäre gerade so als ob Jemand statuiren wollte: wenn wir oft genug einen grauen Fleck auf violettem Grunde in Folge simultanen Contrastes gelb gesehen haben, so fixirt sich dies und wir müssen schliesslich den grauen Fleck auch dann unser Leben lang gelb sehen, wenn wir den violetten Grund entfernt haben. Natürlich sieht hier Jeder: es müsste umgekehrt der Rückschlag kommen, wenn die simultane Vergleichung fortfällt. Man übersehe aber doch auch nicht, dass nun nach Annahme jener heutzutage widersinnigen Seitenhypothese nicht die kleinste Thatsache, nicht das leiseste Anzeichen mehr dafür vorliegt, dass jenes Continuum fixer Ideen wirklich aus einer Vergleichung des Himmels mit irdischen Gegenständen, Horizont u. s. w. entstanden ist. Die Theorie wird zu einer rein willkürlichen Annahme. Wäre die Sache zufällig umgekehrt, — wäre der Mond am Horizonte klein, im Zenithe gross: so würde die Vergleichung ebenfalls herhalten können, — und jetzt viel plausibler klingen: Weil wir den Mond am Horizont mit den grossen Bauten, hohen Bergen, mächtigen Baumkronen u. s. w. vergleichen, erscheint er uns am Horizonte klein; wo er

1) Vollständiger Lehrbegriff der Optik. Deutsch von A. G. Kästner. 1755.

aber in erhabner, unvergleichbarer Majestät hoch am Himmel schwebt, da erscheint er uns gross!

Eine Theorie der in Rede stehenden Täuschungen muss zum mindesten aus den Thatsachen unserer Wahrnehmungen heraus in logisch zwingender, überzeugender Weise die Genese jener entwickeln können, wenn sie schon nicht im Stande ist ihre Richtigkeit durch neue Thatsachen zu beweisen.

Wir gelangen jetzt zur dritten Erklärungsweise, welche von der Erfahrung ausgeht, dass Gestalten im Nebel, in dunstiger Atmosphäre undeutlicher gesehen und deshalb für entfernter, in Folge dessen bei gegebenem Sehwinkel für grösser gehalten werden, als ihnen zukommt. Wir können diese Theorie die der Luftperspective nennen. Sie befreit unsere Frage von der Verwerthung des gleichzeitig gesehenen (irdischen) Horizontes und irdischer Objecte und besteht daher allen erwähnten Beobachtungen gegenüber, durch welche wir oben die beiden Vergleichungstheorieen widerlegen konnten, zunächst zu Recht. Von vornherein liegt ihre schwache Seite darin, dass sie die Uhrglasform des klaren Tageshimmels nicht befriedigend erklärt; denn am klaren Tageshimmel sind ja keine Gegenstände, keine Details, die am Horizonte vergrössert erscheinend den Horizonthimmel zu dehnen vermöchten, — und offenbar deshalb hat wohl Helmholtz die Rückerinnerung an den angeblich berechtigtermaassen abgeplatteten Wolkenhimmel herangezogen. Auch für die Sternbilder, welche doch aus Sternen verschiedener Helligkeit bestehen und welche in ihrer scheinbaren Grösse von der Helligkeit der sie zusammensetzenden Sterne, wie jeder sofort sieht, unabhängig sind, ist die Luftperspective durchaus ausser Stande die scheinbare Vergrösserung bei Zunahme der Zenithdistanz zu erklären. Denn die atmosphärischen Dünste könnten doch nur die Helligkeit der betheiligten Sterne mindern.

Obschon wir zugeben können, dass vielerlei Motive bei der Entstehung der in Rede stehenden Täuschungen mit in Betracht kommen, so meine ich doch, dass eine Theorie das ganze Gebiet jener Täuschungen unter einem befriedigend abzuleiten im Stande sein müsse. Nur ungern werden wir für die Uhrglasform des Himmels und für die wechselnde scheinbare Grösse der Sternbilder andere Ursachen gelten lassen, als für die in genau demselben Sinne wechselnde scheinbare Grösse von Sonne und Mond.

So richtig die Luftperspectiventheorie für die meisten irdi-

sehen Dinge (Bilder der Landschaft u. s. w.), so ist sie doch für die Sonne überhaupt nicht, und für den Mond im Allgemeinen nicht — sondern nur unter ganz besonderen Umständen — zutreffend. Sie gilt, wie ich mich überzeugt habe, nur für relativ dunkle Körper auf relativ hellem Untergrunde, nicht aber für relativ helle Körper auf relativ dunklem Untergrunde. Wenn ich die hochstehende Sonne durch dichte Rauchmassen hindurch beobachtete, so erschien sie mir, der über die Röthe der Morgen- und Abend-Sonne aufgestellten Theorie entsprechend, roth, aber nicht vergrössert, sondern verkleinert. Wenn ich die am Horizonte stehende, rothe, vergrösserte Sonne durch Rauch hindurch beobachtete, so wurde sie eventuell noch etwas röther, jedenfalls weniger blendend, undeutlicher, aber nicht grösser sondern kleiner. Wenn sich ein Londoner Nebel, der während seines Maximums auch nicht einmal die Richtung erkennen lässt, in welcher sich der hochstehende Mond oder die Mittagssonne befindet, schliesslich auflöst und endlich die Form des Mondes oder der Sonne erkennen lässt, so erscheinen diese nicht vergrössert, sondern verkleinert. Die dunklen Gestalten vergrössert der Nebel, leuchtende Himmelskörper verkleinert er. Diese Verkleinerung dürfte ausschliesslich auf die Verminderung der Irradiation zu beziehen sein, während gerade die Verminderung der Irradiation umgekehrt im helleren Nebel der Grösse der dunkelen Gestalten zu Gute kommt.

Nur in einem Falle kann die Luftperspective vergrössernd am Monde wirken, und nur an ihm: nämlich wenn der lichtschwache Mond mit seinen bekannten dunklen Details („dem Manne im Monde") an dem noch (oder schon) von der Sonne genügend beleuchtetem Horizonthimmel steht. Und dieses ist ja allerdings der Fall, den Helmholtz besonders in's Auge gefasst hat: der Aufgang (oder Untergang) des Vollmondes, wenn er, als das Gegenüber der Sonne, so ganz besonders vergrössert, roth und lichtschwach auf hellem Grunde erscheint.

Nun sehen wir aber doch zweifellos Sonne und Mond, auch wenn sie noch so klar auf- oder untergehen, vergrössert, wir sehen die Distanz zwischen uns und dem Himmel am Horizont im Vergleich zum Zenith grösser u. s. w. und würden also wünschen, alles dieses unter einer Theorie, die nichts mit Luftperspective zu thun hat, zusammengefasst zu sehen, während wir allerdings für jenen einen besonderen Fall des scheinbar so sehr vergrösserten,

lichtschwachen, im dunstigen auf- oder untergehenden Mondes mit seinen dunklen Details im Innern auf hellem Himmelsgrunde, — ohne Bedenken mit Helmholtz den Einfluss der von ihm so glänzend eröffneten Luftperspective statuiren würden.

Einer solchen einheitlichen Auffassung scheint aber die weiter oben erwähnte Beobachtung Helmholtz's im Wege zu stehen, dass das mittels einer planparallelen Glastafel gespiegelte und an den Horizonthimmel projicirte Bild des hochstehenden Mondes nicht „entschieden grösser aussieht als der direct gesehene Mond oben am Himmel". Zwar steht es uns frei diese Worte so zu deuten, dass das Mondbild doch um etwas grösser erschien als der Mond selbst und dass nur jener Antheil, den wir für die Luftperspective eben zugestanden haben, in der Vergrösserung fehlte. Aber bei Wiederholung des von Helmholtz beschriebenen Versuches war ich doch sehr erstaunt den Mond sogar verkleinert zu sehen. Hier lag offenbar bei mir ein persönlicher Beobachtungsfehler vor, den ich auch bald erkannte: Wie die meisten Menschen gewöhnt, nur ganz nahe Dinge im Spiegel zu betrachten (meistens spiegelt man ja nur sich selbst und zwar aus nächster Nähe) accommodirte ich beim Blick in das spiegelnde Glas unwillkürlich und brachte so den Mond in grössere Nähe. Dieser Fehler konnte mir leicht begegnen, da ich ungleiche Augen habe: Das eine ist recht erheblich amblyopisch und wird zwar ganz correct für das Sehen in der Nähe und für binocular-stereoskopisches Sehen benutzt, wird dagegen im Allgemeinen für die Ferne, speciell für die Beobachtung des Himmels nicht benutzt; entweder schliesse ich es unwillkürlich oder ich vernachlässige in Folge von Gewöhnung die von ihm gelieferten Trugbilder. Als ich dann meine Aufmerksamkeit darauf gerichtet, bei jener Beobachtung jede Convergenzstellung und Accommodation zu unterlassen, und durch Uebung dieses auch bald zu Stande brachte, erschien mir der gespiegelte Mond am Horizonte genau so gross, wie der direct gesehene Mond oben. Wiederum vermuthete ich hier einen Fehler, den ich auch bald ermittelte, den ich aber erst nach einiger Uebung und durch Kunstgriffe zu vermeiden lernte. Der reflectirte hochstehende Vollmond mit dem ihn umgebenden Himmelsabschnitte ist so lichtstark im Vergleich zu dem durch die Glastafel hindurch gesehenen dunklen Horizonttheile des Nachthimmels, dass man zunächst im günstigsten Falle die beiden Bilder — das reflectirte

und das directe — übereinander und durcheinander sieht, aber nicht zu einem am Horizonthimmel gelegenen vereinigt. Meist aber erregt das gespiegelte Bild so sehr die Aufmerksamkeit, dass man nur dieses sieht: daher die gleiche Grösse.

In noch höherem Maasse ist dieses Dominiren des gespiegelten Bildes bei Benutzung der Sonne zu sehen, wo es trotz Ueben kaum gelingt zugleich mit der gespiegelten Sonne den direct betrachteten Horizonthimmel zum Bewusstsein zu bringen, geschweige denn die Sonne an den Horizont zu sehen, wenn man sich nicht gewisser Kunstgriffe bedient. Wenn die Sonne durch Wolken leicht verschleiert ist, gelingt der Versuch schon eher. Das zweckmässigste Vorgehen ist folgendes: Man befestige die nicht zu grosse Glastafel in geeigneter Lage an einem Stative und entferne sich soweit von ihr, dass sie nicht wesentlich mehr vom Himmel als eben gerade die Sonne (resp. den Mond) für das (durch Rauchglas geschützte) Auge des Beobachters spiegeln kann. Man stelle sich so auf, dass man die Sonne noch nicht sieht, sie aber durch eine leichte Seitenbewegung sich sichtbar machen kann; dann betrachte man den Horizont durch die Glastafel hindurch und neben ihr, und gewöhne sein Auge an die scheinbare Distanz. Jetzt mache man ganz allmählich jene Seitenbewegung bis gleichsam ganz unerwartet und unbeachtet die Sonne durch die Glastafel wie vom Horizonte her leuchtend erscheint; dann erscheint sie aber auch colossal. Aber selbst hier versagt der Kunstgriff oft, — und man sieht eben die Spiegelung, nicht aber sieht man die Sonne an den Horizont. Ganz regelmässig führt aber bei einiger Uebung dieser Kunstgriff beim Monde zum Ziele, zumal wenn er in Sichelform zu sehen oder in Wolken verschleiert ist, und besonders wenn die Himmelsstelle, an welche er projicirt werden soll, recht hell ist. Je lichtschwächer der Mond, um so mehr empfiehlt sich folgender Kunstgriff: Man lege die Kante der Glastafel so gegen das Antlitz, dass man den ganzen Himmel nur durch sie sieht, beobachte dann zunächst noch, ohne das Reflexbild des Mondes auf der Tafel zu haben, die betreffende Himmelsstelle, an welche man das Reflexbild projiciren will. Allmählich wende man die Tafel oder den Kopf so, dass wie zufällig das Spiegelbild erscheint. Dieser Versuch versagt nicht. Am anschaulichsten aber und leichtesten geht die Projection gespiegelter Sternpaare vor sich. Das Resultat aller dieser Beobachtungen war, dass Sonne, Mond und alle Sternen-

combinationen, gleichviel ob sie vom Horizonte in die Höhe oder von der Höhe an den Horizonthimmel gespiegelt werden, sofern die Projection wirklich und richtig gelingt, dieselbe scheinbare Grösse dort haben, welche sie haben würden, wenn sie dort wirklich stünden. Bei Sternenpaaren hat man eine, man kann sagen, messende Methode: Zwei Sterne — nahe am Horizonte erscheinen beispielsweise doppelt soweit von einander entfernt, als ein anderes Paar, das sich in der Nähe des Zeniths befindet. Spiegelt man jetzt das untere Paar und führt das Spiegelbild allmählich zum Zenith hinauf, so rücken die beiden gespiegelten Sterne näher und näher, wenn man durch die Glastafel hindurch den Sternenhimmel beobachtet, und sie decken sich eventuell schliesslich mit jenem direct gesehenen Paare in der Nähe des Zeniths.

Eigentlich hätte man dieses Resultat schon mit Rücksicht auf folgende allerdings in einem anderen Zusammenhange von Hering vorgeführte und von mir selber oft angestellte und variirte Beobachtung erwarten können: Blickt man mit dem Nachbilde der Abendsonne im Auge auf eine andere Stelle des Himmels nahe dem Horizonte, so erscheint das Nachbild so gross, wie zuvor die Sonne; blickt man dagegen nach der Höhe des Himmels, so erscheint es bedeutend kleiner, ebenso wie die Sonne selbst in der Nähe des Zeniths kleiner erscheint als am Horizonte. Diese Nachbildermethode hat den grossen Vorzug, dass die Projection der Nachbilder an die betreffende angeschaute Himmelsstelle nicht nur keine Schwierigkeiten macht, sondern sich von selber aufdrängt, selbst gegen unseren Willen.

Es liegt also in der That gar kein Grund vor, warum wir nicht für alle die besprochenen Täuschungen eine einheitliche Erklärung fordern sollten.

Um eine solche Theorie aufstellen zu können, muss man, wie mir scheint, folgende Punkte berücksichtigen: 1. „Der plattgewölbte Himmel" ist, wie oben schon hervorgehoben wurde, nicht Gegenstand unmittelbarer Wahrnehmung, sondern eine aus successiven Wahrnehmungen abgeleitete aufdringliche Vorstellung.

2. Unsere sinnlichen Wahrnehmungen von Entfernungen sind ausschliesslich irdischer Erfahrung entnommen. Dementsprechend sehen wir den Himmel nicht als unendlichen Raum, sondern als eine Fläche, die wir zwar in weite, aber jedenfalls noch irdische, nicht aber kosmische Entfernung verlegen, — was in anschaulichster

Weise daran erkannt werden kann, dass wir den Himmel sogar dort, wo er uns am entferntesten erscheint, nämlich am Horizonte, in unmittelbarer Berührung mit dem Fussboden, — also doch gewiss in noch irdischer Entfernung sehen. Die sinnliche Vorstellung der Himmelshöhe mag bei verschiedenen Menschen verschieden sein; sie ist bei denselben Menschen eine nur in geringem Maasse wechselnde, vielleicht ganz constante, wie sich daraus ergibt, dass wir z. B. den hochstehenden Mond zu den verschiedensten Zeiten stets in derselben uns geläufigen scheinbaren Grösse sehen, so oft er wieder dieselbe Stelle hoch am Himmel einnimmt; — aber in jedem Falle handelt es sich um eine noch irdische Entfernung und diese Wahrnehmung ist so eindringlich, dass wir weder mit unserem Willen sie beseitigen können, noch durch unsere bessere Erkenntniss von ihr befreit werden. Im Allgemeinen wird man wohl sagen können, dass wir die höchsten Wolken bereits am Himmel und jedenfalls nicht tief unter dem Himmel sehen. So darf wohl der Ausspruch gethan werden: wir sehen den Himmel etwa in der Höhe höchster Wolken in einer für den einzelnen Menschen ziemlich gleichbleibenden Entfernung. Wie mir scheinen will, ist die Entwicklung dieser Constanz der scheinbaren Himmelshöhe folgende: Das Kind sieht alles gleich nahe, unräumlich. In dem Maasse als das räumliche Sehen zur Ausbildung gelangt, w e i c h t in der Wahrnehmung der Himmel z u r ü c k; er macht Halt und fixirt sich in noch endlicher, irdischer Entfernung, sobald jene Ausbildung vollendet ist und eine weitere Concession, ein weiteres Zurückweichen nicht mehr gefordert wird. Es haftet nun an dieser uns aufgenöthigten Vorstellung noch die weitere physiologische Zwangsvorstellung, dass dieses Gewölbe im Zenith abgeplattet oder dass es im Horizont gedehnt sei. Wer eine Erklärung dieser letzteren Vorstellung geben will, darf ohne Weiteres das Zugeständniss fordern, dass alle auf Erden für derartige in kleinerem Maassstabe hergestellten Gewölbe giltigen Erfahrungen und Vorstellungen auch am Himmelsgewölbe für unser Sehen Geltung behalten müssen.

Um zu einer solchen Erklärung zu gelangen, hatte ich mir zunächst eine vorläufige, rein heuristische Hypothese gebildet, welche — an sich ohne Interesse — mir Gelegenheit zu Deductionen geben sollte, die ihrerseits einer experimentellen Prüfung zugänglich zu sein hatten. Nur so viel sei aus ihr mitgetheilt als nothwendig ist, um zu verstehen, wie ich darauf verfiel, den als-

bald zu erwähnenden Versuch anzustellen, obschon auch dies bereits für die Sache gleichgiltig sein mag. Ich stellte mir vor, dass sich jenes eindringliche, d. h. unvermeidliche Vorurtheil bezüglich der Form des Himmels in uns herausgebildet habe, weil wir einerseits im Allgemeinen gewöhnt sind, uns auf der Erde in — vermeintlich — horizontaler Richtung zu bewegen, im Allgemeinen horizontal zu blicken, „den Fussboden" unter uns zu sehen, und andererseits den Himmel über uns zu sehen, über uns zu wissen. Wie ich mir das Wie der Entstehung dieses Vorurtheils vorstellte, ist für die Sache belanglos. Wenn ich das Richtige getroffen, wenn thatsächlich die genannten Motive ausreichend zur Erzeugung des Vorurtheils sind, so musste das Vorurtheil ausbleiben, wenn ein Kind unter Vermeidung dieser Einflüsse erzogen würde. Und wenn es nach Erwerbung des räumlichens Sehens und der erforderlichen Intelligenz herangewachsen ist und zum ersten Male ins Freie unter den Himmel geführt wird, so müsste es frei von allen jenen Täuschungen sein. Warum ich dieses Experiment nicht anstellte, bedarf wohl keiner Erläuterung. Aber wäre es nicht möglich, mit einer bereits fertigen, im Vorurtheile bereits befangenen „Seele" in dieser Richtung irgendwie zu experimentiren? Freilich, wer sich die „Seele" als ein fertiges Etwas, als ein Ding, als ein centrirtes Prinzip vorstellt, das sich z. B. der Ganglienzellen der Sehsphäre in der Grosshirnrinde nur als mechanischer Signalapparate bedient, — möchte wohl diese Seele als unheilbar jenem Vorurtheil verfallen betrachten und auf jegliches Experimentiren zu verzichten geneigt sein. Wer aber in den Empfindungen, Wahrnehmungen und Vorstellungen nur ein fortwährendes G e s c h e h e n in räumlich auseinanderliegenden, aber unter einander verbundenen Apparaten, — ein Geschehen sieht, das in einer uns allerdings noch unverständlichen Weise stets zu einer Einheit zusammengefasst auftritt, — der durfte wohl daran denken, dass auch das Vorurtheil irgendwie räumlich beschränkt ist, und dass die Benutzung von noch unbeeinflussten Apparaten oder von Combinationen der Apparate, in denen sie noch unbeeinflusst sind, das Vorurtheil zum Verschwinden bringen müsse oder könne. Nun kommen die Gesichtswahrnehmungen, die den Himmel betreffen, im Wesentlichen nur in den Ganglienzellen zu Stande, welche mit den unteren Netzhauttheilen in Verbindung stehen, und die Wahrnehmungen, welche sich auf den Fussboden beziehen, in denjenigen

Ganglienzellen, welche mit den oberen Netzhautpartien verbunden sind. Wenn nun die zweite vorgetragene Auffassung von der „Seele" im Vergleiche zur ersteren die richtige oder richtigere ist, und wenn meine heuristische Hypothese über die Motive des Vorurtheils richtig ist, so war eine Verringerung oder gar Beseitigung der Täuschungen zu erwarten oder doch wenigstens zu erhoffen, sobald wir die Rollen vertauschten, sobald wir die sonst den Fussboden beobachtenden Zellen den Himmel schauen liessen und die sonst den Himmel schauenden Zellen mit dem Anblicke der Erde sich beschäftigen liessen. Dies erreichte ich, indem ich ein Geländer am Seestrande als Reck benutzend, mit abwärts gekehrtem Kopfe den Himmel betrachtete. Später blickte ich meistens mit abwärts geneigtem Kopfe zwischen den Beinen hindurch oder benutzte Spiegel: Die Täuschung verschwand beinah völlig; die Sternbilder u. s. w. am Horizonthimmel schrumpften in hohem Maasse zusammen; gleiche Winkel wurden gleichgross gesehen. Die Halbkugel war beim Umherblicken hergestellt. Die Grösse des im Zenith befindlichen Sternbildes erschien nicht beeinflusst. Auch der blaue Tageshimmel nimmt die Halbkugelform an.

Aus den verkehrtesten theoretischen Voraussetzungen heraus sind oft schon richtige Thatsachen gefunden, interessante Versuche angestellt, ja selbst wichtige Entdeckungen gemacht worden. Die meisten der betreffenden glücklichen Beobachter verfielen sofort in den Fehler, aus der Brauchbarkeit des so gefundenen Resultates den Schluss zu ziehen, dass die Richtigkeit der Voraussetzungen hiermit bewiesen sei. Ich beeile mich zu erklären, dass weder die Richtigkeit der unterstellten Auffassung von dem Wesen der Seele, noch die Richtigkeit meiner vorläufigen heuristischen Hypothese über die Motive jenes Vorurtheils durch das Resultat des soeben beschriebenen Versuchs bewiesen sei.

Weiter unten werden wir sehen, dass die ganze Vorraussetzung, welche mich zur Anstellung des Versuches veranlasste, unrichtig ist: Nicht weil ich den Himmel sich auf der oberen Netzhautpartie abbilden liess, schwand die Täuschung, sondern weil ich sein Bild umkehrte. Die Lage der Netzhautpartie, ob oben oder unten, ist ohne Bedeutung. (Dass monoculare und binoculare Betrachtung des Himmels unter den angegebenen Bedingungen das gleiche Resultat geben, ist zwar bei der Entfernung des „Himmels" selbstverständlich, sei aber doch erwähnt.)

Während der ersten Male, da ich den Himmel bei abwärtsgekehrtem Kopfe betrachtete, sah ich nur den Himmel und achtete nur auf ihn und nicht auf den Horizont: waren es doch der Himmel, die Sternbilder u. s. w., denen die ganze Frage galt. Ueberdies hatte ich eine glatte Meeresfläche vor mir, die naturgemäss die Aufmerksamkeit nicht auf sich zog; auch wurden die meisten meiner ersten Beobachtungen in dunkler Nacht angestellt; ferner mag erwähnt werden, dass für einen vollblütigen Mann im 51. Lebensjahre die benutzte Körperstellung zu unbequem und lästig ist, als dass er nicht, auf das Wesentliche sich beschränkend, die Dauer des Versuches möglichst abkürzen sollte. Auch waren mir, dem dieses Arbeitsgebiet ja sonst etwas ferner liegt, die Beobachtungen Helmholtz's über die Veränderungen des Aussehens einer Landschaft bei nach abwärts gekehrtem Kopfe und die von Hering an den Ausführungen Helmholtz's geübte Kritik noch nicht bekannt; ich war auf Reisen und mir waren daher im allgemeinen litterarische Hilfsmittel nicht leicht zugänglich. Ich betone dies alles, um zu erweisen, dass das, was ich am Himmel neu sah, nicht etwa in simultaner Induction durch die von mir erst bei späteren Gelegenheiten am irdischen Horizonte gesehenen Abnormitäten herbeigeführt sein kann. Dass aber umgekehrt die von mir später sozusagen selbstständig „entdeckten" Veränderungen im Bilde des irdischen Horizonts nicht durch die mir aufgedrungene neue Bildform des Himmels blos simultan inducirte waren; dass vielmehr beide nur coordinirte Folgen desselben Motives sind, geht daraus hervor, dass Helmholtz und Hering ohne die Veränderungen des Himmels wahrzunehmen, im Allgemeinen die gleiche Veränderung des irdischen Horizontes gesehen haben. Freilich haben sie nicht ganz dasselbe d. h. nicht alles beschrieben, also wohl auch nicht alles wahrgenommen, was sich mir, der ich abweichend von ihnen einen unbegrenzten Horizont benutzte und die Zusammenschnürung des Horizonthimmels bereits erkannt hatte, ohne weiteres aufdrängen musste.

Helmholtz [1]) beschreibt den Anblick einer Landschaft, wenn er sie entweder mit seitwärts geneigtem Kopfe unter dem Arme durch oder mit abwärts geneigtem Kopfe zwischen den Beinen hindurch bei gleichbleibender Höhe der Augen betrachtete, wie:

1) l. c. S. 723.

folgt: „Man wird nun die ferneren Theile der Bodenfläche nicht mehr horizontal, sondern wie eine auf die Himmelsfläche gemalte Wand sehen. Ich habe vieler solcher Beobachtungen auf der von Heidelberg nach Mannheim führenden Strasse ausgeführt. Vor mir lag hinter einer Reihe von Feldern der Neckar, der einen Einschnitt in das ebene Terrain macht, jenseits wieder ebenes Land, welches sich etwa eine Meile weit bis an den Oelberg bei Schriesheim ausdehnt. Bei aufrechter Haltung des Kopfes erkannte ich vollkommen gut die weitgedehnte Ebene jenseits des Flusses; bei schräger oder verkehrter Haltung schien das Terrain vom Flusse aus unmittelbar zu dem Oelberg in die Höhe zu steigen. Eine Hecke, die durch ein Stück Feld von einem dahinterliegenden Hause getrennt war, was ebenfalls bei aufrechtem Kopfe deutlich zu sehen war, schien bei schräger Haltung ganz nahe vor dem Hause zu liegen, und so weiter. Auch die kleinen Unebenheiten der Strasse waren mir bei natürlicher Kopfhaltung viel plastischer."

Dass nicht die ungewöhnliche Stellung des Kopfes, sondern die verkehrte Lage des Bildes gegen die Augen „an der mangelhaften Genauigkeit der Tiefenwahrnehmung" Schuld sind, beweist Helmholtz durch Benutzung von umkehrenden Prismen bei aufrechter Körperhaltung. Helmholtz erklärt diese Erscheinung daraus, dass der „Fussboden-Horopter" bei dieser verkehrten Betrachtungsweise sich für die Plasticität des Fussbodens nicht mehr geltend machen könne. Mit Recht hat Hering diese Erklärung als unzulässig bezeichnet. Da die Frage des Fussboden-Horopters und die Frage, wie weit das Einfachsehen im Horopter für die Plasticität des Bodens einer Landschaft u. s. w. von Wichtigkeit ist, da alles dies für die uns interessirenden Dinge ohne Belang ist, will ich hier auf diese Punkte nicht näher eingehen. Dass aber die ganze Erscheinung mit dem Horopter gar nichts zu thun hat, geht daraus hervor, dass die Veränderung des landschaftlichen Bildes bei Umkehr des Kopfes bezw. Umkehr des Bildes zu den Augen (wir wollen in Zukunft den Ausdruck gebrauchen: bei Umkehrung), wie Hering richtig erkannte und ich bestätigen kann, die gleichen sind, wenn überhaupt nur ein Auge benutzt wird.

Hering[1]) erklärt die Veränderung der Landschaft bei Umkehrung aus unserer langen Gewohnheit, horizontale Flächen von

1) l. c. S. 354.

oben herab zu sehen und sie der Wirklichkeit gemäss auszulegen. Er weist darauf hin, dass schon wiederholt (u. a. von Förster) betont worden ist, dass wir viel geneigter und geübter sind, das auf der Netzhaut tiefer gelegene ferner, und das höher gelegene näher zu sehen als umgekehrt. Was nun meine eigenen Beobachtungen bei Umkehrung betrifft, so war das, was mich — bei der Betrachtung der Meeresfläche — sofort am stärksten frappirte, die Einengung des gesammten Horizontes. In der Helmholtz'schen Darstellung ist dies nicht erwähnt, obschon man ja für einzelne Stücke die Verkürzung angeführt findet. In der That springt bei Betrachtung einer Landschaft mit begrenztem Horizonte diese Einengung auch nicht so in die Augen, wie beim Meere. Andererseits ist die Erscheinung, dass der äusserste Hintergrund wie eine aufrechtstehende Wand und nicht horizontalliegend gesehen wird, bei einer Landschaft wohl eindringlich, nicht aber so beim Meere. Es hängt dies von Folgendem ab: Den Vordergrund sieht man nämlich überall richtig — oder um der Angabe Helmholtz's willen, dass ihm bei natürlicher Haltung des Kopfes der Boden in seiner Nähe plastischer erschien, als bei Umkehrung, will ich nur behaupten, dass für den Vordergrund die Störungen bei Umkehrung verschwindend klein sind im Vergleich zu der ganz unglaublichen Verkürzung im Hintergrunde. Je ähnlicher nun — wie am Meere — der Vordergrund dem Hintergrunde ist, je mehr man den Hintergrund als gleichartige Fortsetzung jenes sehen kann, um so weniger leicht verlässt das Bild des Hintergrundes die Horizontalebene.

Ueber den Modus, den Maassstab, nach welchem die angegebene Verkürzung des Horizontes stattfindet, gibt folgender Versuch Aufschluss: Am Meeresstrande trat ich soweit von dem Wasser zurück, dass das Stück gleichmässig sandigen Strandes mir unter demselben Gesichtswinkel erschien, wie das ganze Stück offener See. Jetzt betrachtete ich mit einem Auge (mit beiden Augen betrachtend erhält man übrigens das gleiche Resultat) den Strand und die See. Ersterer erschien mir als ein schmaler Streif, während die See den bekannten Eindruck grossartiger Ausdehnung lieferte. Alsdann machte ich die Umkehrung (während ich mich so postirte, dass die Augen sich ebensohoch über dem Fussboden befanden wie vorher) und betrachtete Strand und See von Neuem. Die See erschien mir jetzt nur so weit ausgedehnt wie der Strand. Bei der Umkehrung

werden also gleiche Winkelstücke auch auf dem irdischen Horizonte als gleiche Ausdehnung gesehen, ganz wie am Himmel.

Zu weiterer Belehrung beschaute ich eine grössere Zahl von Stereoskopenbilderpaaren bei Umkehrung. Alle Stücke eines Bildes, welche für rechtes und linkes Auge stereoskopisch-verschiedene Aufnahmen darboten, wurden in voller Plasticität gesehen. So war denn der Vordergrund bis weit hinein in den Mittelgrund vertieft. Nur wenn in dem Vordergrunde nichts anderes als eine gleichmässig erscheinende Wasserfläche sich befand, deren Details für die beiden Augen nicht als evident verschieden sich markirten, gelang das stereoskopische Sehen nicht. Der Hintergrund dagegen liess sich bei Landschaften mit Fernblick, bei Meeresausblicken u.s.w. absolut nicht ausdeuten, so plastisch auch der Vordergrund erschien. Alle Stücke also, welche wegen der dargestellten Entfernung beiden Augen gleiche Bilder lieferten, konnten nicht vertieft werden. Wohl gelang es, einfachere parallelepipedische Gegenstände, wie Häuser, perspektivisch zu deuten, aber auch dies war mehr eine Diagnose als eine Wahrnehmung. Dagegen lieferten Bilder von selbst recht langgestreckten Skulpturengalerien und hohen Kirchen-Intérieurs ausgezeichnete Tiefenansichten.

Die erwähnte Unauflöslichkeit der landschaftlichen Hintergründe bei Umkehrung des Stereoskopbildes ist gleichwerthig mit den Schwierigkeiten die man hat, wenn man Gemälde, Journal-Illustrationen u. s. w. verkehrt betrachtet. Ich habe eine grosse Zahl von Oelgemälden und Journal-Illustrationen hierauf hin angesehen: Einfachere Gegenstände im Vordergrunde, en face gegebene wenig sagende Gesichter sieht man einigermaassen richtig. So wie aber an einem zumal entfernter dargestellten Gesichte schroffe perspectivische Verkürzungen vorliegen, so bringt man oft überhaupt kein Gesicht heraus, geschweige, dass man es richtig ausdeute. Perspectivisch vorzüglich gemalte Landschaften sind, zumal für die Ferne, perspectivisch vollkommen unverständlich, wenn man sie umkehrt. Man erkennt Menschen und Thiergestalten, Bäume, Häuser. Die Perspective aber ist so gut wie gänzlich verschlossen und zwar macht es keinen Unterschied, ob man das Bild auf der unteren oder oberen Netzhauthälfte sich abbilden lässt. Wenn man sich nun auch bemüht, gegen die sonstige uns geläufige Art alles was im Bilde des Fussbodens dem Auge mehr unten erscheint, nicht als näher sondern als ferner anzunehmen im

Vergleich zu dem mehr oben gelegenen, so gelingt dies wohl für die eine oder mehrere grössere Flächen, aber nicht allgemein für die Details. Nun aber gar nach oben (für das Auge) divergirende Linien als horizontal und parallel wahrzunehmen (wie wir es sonst bei nach oben convergirenden Linien, z. B. wo eine Allee oder eine Strasse dargestellt ist, zu thun gewöhnt sind) und dies überall an allen kleinen Einzelheiten des Bildes durchzuführen, gelingt selbst dem Willen nicht; vollends tritt dies nicht ein beim unbefangenen Hinblicke. So ist also der Verlust des perspectivisch horizontal-vertiefenden Sehens zumal für die Ferne bei Umkehrung des Bildes etwas ganz Charakteristisches. Was wir durch millionenfache Uebung unserer Augen und durch Controllirung mittels Abschreitens, Umschreitens, parallaktischer Verschiebung, progressiver Aenderung des Sehwinkels, eventuell Betastens u. s. w. gewonnen haben, um die räumliche Anordnung der Dinge in Beziehung zu setzen zum Fussboden, in Beziehung zu der (vermeintlichen) Ebene des grossen uns schier unermesslich erscheinenden Horizonts, der für das Auge unsere ganze Welt ausmacht, — alles dieses ist bei Umkehrung unbrauchbar — allgemein bei Gemälden u. s. w., und unserer körperlichen Welt gegenüber überall da, wo nicht jener binocular-stereoskopische Zwang ausgeübt wird, — wo nicht den beiden Augen stereoskopisch-verschiedene Bilder desselben Dinges dargeboten werden. In der Körperwelt ist also bei Umkehrung jener Erfahrungsschatz unbrauchbar für die Ferne.

So erscheint uns bei Umkehrung die wirkliche Landschaft im Vordergrunde richtig und plastisch wegen der binocular-stereoskopischen Verschiedenheit der dargebotenen Bilder und der sonstigen Hilfsmittel des plastischen Nahesehens; diejenigen Objecte aber, welche wegen ihrer grösseren Entfernung beiden Augen gleich erscheinen, liefern ein Bild ohne horizontale perspectivische Vertiefung und daher erscheinen uns weit ausgedehnte Flächen nur in der der Winkelgrösse ihres Bildes entsprechenden Grösse.

Wenn aber unter denselben Umständen zugleich auch der im Gesichtsfelde unmittelbar mit dem Horizont in Continuität stehende Himmel im gleichen Sinne verwandelt wird und wenn die gedehnten Sternbilder des Horizonttheiles des Himmels zu ihrer richtigen Winkelgrösse zusammenschrumpfen, wenn auch hier gleiche Winkelstücke gleich erscheinen, so kann nichts anderes

vorliegen, als dass wir bei aufrechter Körperhaltung den Himmel in horizontaler Richtung in gleicher Weise perspectivisch vertieft gesehen hatten wie wir unsere Horizontebene perspectivisch vertieft sehen und dass der für Umkehrung des Bildes charakteristische Verlust des perspectivischen Vertiefens jetzt auch hier gleiche Winkelstücke als gleich gross erscheinen lässt [1]). Mit andern Worten: Der Himmel bildet zusammen mit der Horizontebene einen horizontalen Hohlkörper, den man bei Umkehrung zwar tief, aber so sieht, dass gleiche Winkelstücke des Gesichtsfeldes in der horizontalen Richtung perspectivisch gleichmässig erscheinen. Dies ist die Stellung, in welcher uns daher der Himmel „astronomisch richtig" erscheint. Aber gleichzeitig wird auch der andere Component des gesehenen horizontalen Hohlkörpers, nämlich der irdische Horizont, bei dieser Stellung „astronomisch richtig" gesehen: es fällt jene bei aufrechter Betrachtung genossene perspectivische Vertiefung fort, welche uns z. B. die See ausgedehnt und den Strand schmal erscheinen lässt, wenn beide im Gesichtsfelde des am Strande stehenden Beobachters gleiche Winkelstücke einnehmen. In gleichem Maasse aber als wir so im aufrechten Sehen an dem horizontalen Hohlkörper den Boden (den Horizont) weiter vertieft haben, — d. h. in horizontaler Richtung verlängert haben, — in genau demselben Maasse haben wir auch den Himmel als einen zu jener Horizontebene zugehörigen Plafond perspectivisch ausgearbeitet und in horizontaler Richtung weiter vertieft. Jetzt sind beide nicht mehr „astronomisch richtig." Aber wie konnte es anders werden?

---

1) Wenn man zur Umkehrung einen Handspiegel benutzt, so mengt sich ein neues Moment ein, auf das ich nicht näher eingehen will. Schon im aufrechten Bilde ist im Spiegel das perspectivische Sehen in die weite Ferne unvollkommen und jene discutirten Täuschungen sind verringert; vollständig beseitigt sind sie bei Umkehrung des Bildes. Aber hier kommt beim Wenden des Spiegels jene Vorstellung nicht zu Stande, dass man selber sich gewissermaassen in der Mitte unter oder hier richtiger: über einer (nach abwärts gekehrten) mächtig ausgewölbten Domkuppel befinde. In jeder Einzelansicht erscheint das Spiegelbild der Welt flächenhaft. Wie mir scheint, handelt es sich bei allem diesen um ein weiteres Zurückgreifen auf eine frühere Entwicklungsstufe des Sehens: wir sehen jetzt mehr in der Weise eines Kindes, dessen räumliches Sehen und sonstige Raumkenntniss noch nicht ausgebildet ist.

Haben wir, während wir fünfzig Schritte von der Brandung entfernt stehen, das kleine Winkelstückchen, das die See in unserem Gesichtsfelde einnimmt, in horizontaler Richtung zu einem mächtigen Ocean vertieft, so haben wir auch das zugehörige Winkelstückchen Himmel in horizontaler Richtung dehnen müssen.

Dass das Interesse, dass die Veranlassung solche Vertiefungen vorzunehmen nicht am Himmel, sondern auf der Erde gelegen waren, liegt auf der Hand. Nachdem wir aber unser räumliches Sehen auf Erden nun einmal in der Weise entwickelt haben, dass wir in horizontaler Richtung perspectivische Vertiefungen vornehmen, und dass wir gleiche Winkelstücke auf der Horizontebene für um so grösser und ausgedehnter ausdeuten, je entfernter das betrachtete Stück von uns und je näher es dem Horizontrande sich befindet, so können wir bei aufrechter Haltung überhaupt nicht anders, also auch am Himmel nicht anders als mit, nach dem Horizontrande zu progressiver, horizontaler Vertiefung sehen.

Nun wir es wissen, dass wir gewöhnlich (bei aufrechter Haltung) den Himmel in der angegebenen Weise perspectivisch horizontal vertieft sehen, wird es uns nicht schwer werden, dies durch Beobachtung zu bestätigen. Wenn ich am Meere oder in der Ebene aufrechtstehend, bei klarem Himmel zunächst zum Zenith aufschaue und dann den Blick in gerader Linie zu einem Punkte des Horizontrandes gleiten lasse, so sehe ich keine Wölbung, sondern bemerke, dass ich an einem der Horizontebene parallelen Plafond entlang blicke, der perspectivisch zur Horizontebene convergirt. Erst wenn ich den Blick nach den Seiten wende, sehe ich aus den früher erörterten Gründen ein Gewölbe (was auch dann der Fall sein würde, wenn der Himmel thatsächlich ein ebener unendlicher Plafond wäre). Ohne Schwierigkeit sieht jeder den Himmel als den besprochenen Plafond, wenn er ihn auf einem grösseren freien aber noch von irdischen Dingen z. B. Häusern umrahmten Platze betrachtet; — noch leichter, wenn er ihn eine längere von hohen Häusern eingefasste Strasse entlang bis zum Horizontrande (zum perspectivischen Verschwindungspunkte) verfolgt.

Dass wir den Himmel in der besprochenen Weise perspectivisch sehen und dass dies bei Umkehrung des Bildes aufhört, ist auch sehr gut im Stereoskope an solchen Landschaftsbildern zu erkennen, in welchen der wolkenlose Himmel einen grossen Theil

des Bildes ausmacht. Zumal lehrreich sind natürlich Bilder, in denen der Mond oder die Sonne tief am Horizont steht. — Uebrigens ersieht man (im Gegensatze zu der von Hering für die Verminderung der Plasticität bei Umkehrung des Landschaftsbildes gegebenen Erklärung s. oben S. 298 f.) sowohl aus diesen Erfahrungen als aus der Betrachtung von Plafonds, Intérieurs, Laubdach, Höhlungen u. s. w. — sei es in natura sei es im Stereoskope —, dass wir erstens sehr wohl gewöhnt und geübt sind, Flächen von unten her zu beschauen und richtig auszudeuten, und dass wir zweitens völlig geneigt und geübt sind, Dinge und Punkte die im Sehfelde weiter unten liegen als entfernter im Vergleich zu weiter oben liegenden zu deuten, sobald für das Nahesehen der binocular-stereoskopische Zwang und die sonstigen Kennzeichen des plastischen Nahesehens (bei monocularem Sehen letztere allein) gegeben sind. Daher orientiren wir uns im umgekehrten Stereoskopbilde droben am Fussboden eines Saales, einer Kirche u. s. w. genau so gut, wie wir im aufrechten Bilde drunten auf ihm oder droben an der Decke orientirt sind. Ganz anders liegt die Sache für die Ferne: hier sind wir ausschliesslich auf das besprochene monoculare horizontale perspectivische Vertiefen angewiesen, und dieses — obschon es für alle Richtungen und Lagen giltig ist, — haben wir, wie die Dinge nun einmal liegen, thatsächlich nur am Fussboden und zwar nur im aufrechten Bilde gelernt. Den fernern Himmel, der an sich keine vertiefbaren Details hat, sehen wir im Stereoskopbilde daher räumlich vertieft nur dann, wenn wir ihn im Bilde auf „unseren“ Horizont in der Ferne, unseren Fussboden beziehen können. Da wir diesen aber im umgekehrten Bilde für die Ferne räumlich nicht ausdeuten, nicht gewinnen können, so sehen wir auch keinen „Himmel“ im umgekehrten Stereoskopbilde. Dem wirklichen Himmel gegenüber sind wir bei Umkehrung in einer für räumliches Sehen günstigeren Lage. Obwohl wir das perspectivische, horizontale Hinausschieben auch hier so gut wie ganz verloren haben, so gewinnen wir doch durch Wandernlassen des Blickes und durch allseitiges Umherschauen die räumliche (secundäre) Vorstellung von etwas uns Umwölbenden, das nach allen unseren räumlichen Erfahrungen eine Halbkugel sein muss, da von überall her der gleiche Eindruck gewonnen wird.

Es ist jetzt leicht zu verstehen, wie jene Täuschungen, die

unser Thema bilden, entstanden sind. Wir sehen den Himmel perspectivisch horizontal vertieft d. h. als eine über unsere Ebene sich hinziehenden Plafond. Wenn wir in irgend einem — irdischen — Raume einen Plafond über uns haben, so ist der unmittelbar über unserem Haupte liegende Punkt der uns nächste Punkt der Decke. Für den Himmel ist dies das Zenith. Auch alle unsere sinnlichen Erfahrungen stimmen hiermit überein. Wenn wir „hoch am Himmel" einen Raubvogel horizontal, d. h. parallel zu unserer Ebene schweben sehen, und er sich dem Zenithe nähert, so wissen wir, so *sehen* wir, dass er uns näher kommt, und wenn er das Zenith passirt hat, so sehen wir, dass er sich von uns entfernt. Das Zenith ist daher für uns der uns nächste Punkt des Himmels; jeder andere Punkt muss uns als von uns um so entfernter erscheinen, je weiter er vom Zenith absteht. Daher muss uns der Himmel am Horizont am entferntesten gelten, und so kommt die scheinbare Form des Himmels zu Stande.

Stellen wir uns jetzt vor, wir stünden unter der Mitte einer cassettirten Saaldecke, an welcher sich durchweg *gleiche* Quadrate befinden. Die Quadrate direct über unseren Häuptern werden uns unter einem grösseren Sehwinkel erscheinen als alle anderen; und je weiter ein betrachtetes Quadrat von dem Mittelpunkte der Decke entfernt ist, um so kleiner wird der Sehwinkel sein. In solcher Lage sehen wir alle Quadrate als gleichgross, nicht *obgleich* wir die Winkelgrösse von der Mitte nach aussen abnehmen sehen, sondern *weil* wir sie abnehmen sehen. Versetzen wir uns jetzt unter die Mitte einer anderen Decke, an welcher die Quadrate in der Weise ausgearbeitet sind, dass sie sämmtlich dem Beschauer unter *gleichem* Winkel erscheinen. Der Beschauer wird sofort das Quadrat über seinem Haupte für das kleinste erklären und die Quadrate von der Mitte aus nach den Seiten hin als grösser und grösser werdend sehen. Wir sehen nun einmal perspectivisch horizontal-vertiefend und nicht den Sehwinkeln entsprechend. Da nun Sternbilder und Himmelskörper an dem solchermaassen perspectivisch gesehenen Himmel im Zenith unter dem gleichen Winkel gesehen werden wie im Horizonttheile, so erscheinen sie uns im ersteren Falle klein im zweiten Falle gross.

Dass an allen diesen Dingen die simultane Sichtbarkeit oder Verdeckung des Horizonts nichts wesentliches ändern kann, liegt

auf der Hand: auch ohne den Horizont zu sehen beziehen die Menschen die Himmelsdecke doch auf ihn, da sie die Ferne räumlich nur in der besprochenen Form perspectivisch sehen d. h. in Beziehung auf ihn, in Beziehung auf den Fussboden. Das haben sie eben von ihm gelernt. Der Horizont hat sie's zwar gelehrt, allein der Horizont kann's nicht machen.

Historische und litterarische Notizen.

Die Luftperspectiven-Theorie ist nicht neu. Schon der englische Bischof, Polyhistor und Philosoph Berkeley (geb. 1684) hatte die Vergrösserung des Mondes am Horizonte davon abgeleitet, dass die lange Dunstschicht der Atmosphäre den Mond dort undeutlicher und deshalb grösser erscheinen lasse. Diese Theorie wurde von Rob. Smith[1]) (1728) bekämpft und — nach der Meinung der Zeitgenossen (z. B. Priestley-Klügel[2])) widerlegt. Er machte geltend: Wenn der Mond bei Tage hoch am Himmel steht, ist sein Licht matt und doch erscheint er nicht gross. Ferner: bei einer Mondfinsterniss erscheint der hochstehende (Voll-)Mond in noch matterem Lichte als unverfinstert sonst am Horizonte und erscheint doch nicht vergrössert. — Die Durcharbeitung der Luftperspective durch Helmholtz konnte wohl Veranlassung geben, jene angeblich widerlegte Theorie in verjüngter Gestalt wieder zur Geltung zu bringen.

Der arabische Astronom Alhazen (11. Jahrh.) (citirt bei Priestley-Klügel S. 504) führte die Abgetheiltheit des Horizonts als entfernendes und deshalb vergrösserndes Moment für Mond u. s. w. an.

Wer zuerst die Vergleichung des Mondes am Horizonte mit irdischen Gegenständen als vergrösserndes Motiv herangezogen hat, habe ich nicht aufgefunden. Dagegen citirt (1776) Priestley-Klügel den Pater Gouye (1700) und Molyneux (1687) als Gegner dieser alten Theorie. Ersterer führte schon, wie ich erst nachträglich gefunden habe, das Bestehenbleiben der Täuschung an, wenn der Mond aus der See aufzusteigen scheint, — letzterer das Ausbleiben der Vergrösserung bei Betrachtung des hochstehenden Mondes über Häuser, Hügel u. s. w. hinweg. Diese Widerlegungen gingen

---

1) S. die deutsche Bearbeitung von A. G. Kästner, 1755: Vollständiger Lehrbegriff der Optik nach Herrn Robert Smiths u. s. w. S. 416—418.

2) Dr. Joseph Priestley's — — — Geschichte und gegenwärtiger Zustand der Optik. Deutsch herausgegeben von G. S. Klügel. 1776. S. 505 ff.

aber verloren, ebenso wie die Kenntniss der schon von Rob. Smith selber beobachteten Thatsache, dass die Verdeckung des Horizontes an der Täuschung nichts ändre; man nahm, der Autorität R. Smith's folgend, an, dass die simultane Betrachtung des Horizonts deswegen für das Zustandekommen der Täuschung nicht erforderlich sei, weil durch die unzählige Male wiederholte Betrachtung z. B. des Mondes an einer Himmelsstelle, sich eine „Angewöhnung" für die Grössenbetrachtung entwickelt und schliesslich zu so eingewurzelten Vorstellungen geführt habe, dass man den Mond an der betreffenden Stelle des abgeplatteten Himmels immer wieder so — und nicht grösser und nicht kleiner sehe — und also auch dann, wenn der Horizont u. s. w, verdeckt wird. Rob. Smith selber leitete die Abplattung des Sternenhimmels von dem platten Wolkenhimmel ab — (was Helmholtz nebenbei mit übernommen hat) — deren häufiger Anblick bei uns zu so eingewurzelter Angewöhnung geführt habe, dass wir ohne sonstiges Motiv auch den Sternenhimmel ebenso sehen. (Ob wohl Italien, mit seinem heiteren Himmel die gleiche Lehre hätte erzeugen können, wie das wolkenreiche England?) Die Art, wie R. Smith die abgeplattete Form des Wolkenhimmels ableitet, ist nicht einwandfrei und ist von Helmholtz nicht übernommen worden. Die Grösse des Mondes, der Sternbilder u. s. w. führt Smith auf die abgeplattete Form in correct mathematischer Begründung zurück. Ihm folgt hierin auch J. G. F. Bohnenberger[1]) (1811). Dieser hat aber für die Himmelsform — abgesehen von der Vergleichung mit irdischen Gegenständen — noch folgende, etwas abenteuerliche Erklärungsweise: „Könnten wir die Grenze der Atmosphäre sehen und die Entfernungen der an ihrer äusseren Oberfläche befindlichen Punkte beurtheilen, so würde uns der Himmel als die Oberfläche eines Kugelabschnitts erscheinen, welcher durch den Horizont des Beobachtungsortes — — — abgeschnitten wird. Ob wir aber gleich die äussere Oberfläche der Atmosphäre nicht unterscheiden können, so müssen wir doch, da die horizontalen Lichtstrahlen, welche sie uns zusendet, aus einer grösseren Tiefe kommen, als die vertikalen, die Ausdehnung der Atmosphäre nach der horizontalen Richtung für grösser halten, als nach der vertikalen. Hierzu kommen noch unsre Erfahrungen über irdische Gegenstände" u. s. w. (folgt Vergleichungstheorie).

Der erste, welcher die scheinbare Wölbung des Himmels als ein Stück einer Kugelfläche (als „Kugelabschnitt") ansah, war der Engländer Hobbes (geb. 1588)[2]). Seitens der Physiker, Astronomen und Mathematiker ist seitdem immer nur von „Kugelabschnitt" gesprochen worden. Nur einige Physiologen sprechen neuerdings von (Halb-)Ellipsoïd. — Rob. Smith[3]) (1755) constatirte, dass ein Unbefangener, welcher den Bogen eines Himmelsquadran-

---

1) Astronomie, 1811. S. 81 u. 82.

2) Priestley-Klügel l. c. S. 505.

3) Smith-Kästner l. c.

ten nach dem Augenmaasse zu halbiren versucht, einen Punkt (bezw. Stern) als Mitte bezeichnet, der nicht 45°, sondern nur 23° vom Horizonte entfernt ist. Von dieser Thatsache ausgehend und unter der Voraussetzung, dass der Himmel thatsächlich einen Kugelabschnitt darstelle, hat er bereits die entsprechenden mathematischen Formeln entwickelt. Es ergibt sich u. a., dass die scheinbare Entfernung des Zeniths vom Beobachter nur $^6/_{31}$ des Radius der (scheinbaren) Gesammtkugel beträgt, — dass also der Kugelmittelpunkt $5\,^1/_6$ mal so tief unter dem Beobachter liegt, als das Zenith über ihm zu liegen scheint. Die Berechnungen Smith's wurden von M. W. Drobisch (1854)[1]) theils weiter geführt, theils vereinfacht. So hat u. a. Drobisch Zahlen geliefert, welche die Möglichkeit gewähren, experimentell festzustellen, ob wir wirklich den Himmel als Kugelabschnitt sehen: ein Unbefangener hätte einen Himmelsquadranten, z. B. durch Bezeichnung von drei auf diesem Bogen gelegenen Sternen, nach dem Augenmaasse in vier gleiche Theile zu theilen. Wenn ihm thatsächlich der Himmel als Kugelabschnitt erschiene, so müssten die Bogenstücke betragen (vom Horizonte angefangen): 9° 27′, — 13° 33′, — 23° 31′, — 43° 29′. Es ist mir nicht bekannt, dass dieser Versuch wirklich ausgeführt worden ist.

---

1) Ueber die Bestimmung der Gestalt d. scheinb. Himmelsgewölbes. Leipziger Berichte 1854. Math.-physische Classe. S. 107.

Beobachtungen und Versuche am suspendirten Herzen.

Dritte Abhandlung.

Refractäre Phase und compensatorische Ruhe in ihrer Bedeutung für den Herzrhythmus.

Von

Th. W. Engelmann.

Mit 24 Holzschnitten.

Die Anhänger der alten Lehre, welche das im Herzen gelegene Nerven- und Gangliensystem als den Vermittler der Herzrhythmik betrachtet, haben sich in neuerer Zeit vielfach zur Stütze ihrer Ansicht auf thatsächliche oder angebliche Unterschiede im Verhalten der ganglienfreien Herzspitze und des ganglienhaltigen Ventrikels berufen. Ein solcher Unterschied sollte unter anderem bestehen in Betreff der von Marey entdeckten sogenannten compensatorischen Ruhe des Herzens, welche als Eigenthümlichkeit des ganglienhaltigen Herzens ausgegeben wird. Da mir Zweifel an der Beweiskraft der Thatsachen aufstiegen, die zur Stütze dieser Behauptung angeführt werden, unternahm ich eine experimentelle Prüfung, deren Ergebnisse ich im Folgenden mitzutheilen mir erlaube.

Im Jahre 1876 hatte Marey [1]) bei seinen bekannten Untersuchungen über die Einwirkung elektrischer Reize auf das Herz den Nachweis geliefert, dass die Anspruchsfähigkeit des spontan klopfenden Ventrikels für einen künstlichen elektrischen Reiz während jeder Kammersytole sinkt, während der darauf folgenden Diastole wieder wächst. Zugleich hatte er bemerkt, dass ein ein.

1) J. E. Marey, Des excitations artificielles du coeur. Travaux du laboratoire de M. Marey II. Année 1875 p. 63.

geschalteter künstlicher Reiz die Gesammtzahl der Systolen nicht beeinflusst. Rief nämlich der Reiz eine Extrasystole hervor, so trat die folgende spontane Zusammenziehung der Kammer um so viel später ein, als die eingeschaltete Systole vor dem Ende der normalen Herzperiode einsetzte, in welche die künstliche Reizung fiel. „Après chaque systole provoquée il se produit un repos compensateur qui rétablit le rhythme du coeur un instant altéré.“ Diese „compensatorische Ruhe“, in welcher Marey ein wichtiges „corollaire de la loi d'uniformité du travail du coeur“ erblickte, wurde von Dastre [1]) weiter untersucht, in der Absicht, zu entscheiden, ob sie auf einer Eigenthümlichkeit der Muskelsubstanz oder des Nervengangliensystems des Herzens beruhe. Zu dem Zwecke prüfte Dastre den Einfluss künstlicher Reize auf die isolirte ganglienfreie Herzspitze, indem er die spontanen Ventrikelreize durch sehr rasch intermittirende Inductionsströme ersetzte, welche wenigstens für kürzere Zeit die Kammerspitze in regelmässig periodische Contractionen versetzten. Durch momentane Verstärkung der erregenden Inductionsströme wurde von Zeit zu Zeit ein Extrareiz gegeben. Je nach der Phase der Herzrevolution, in welche derselbe fiel, hatte er eine sichtbare Wirkung oder nicht. Kam eine eingeschaltete Ventrikelsystole zu Stande, so blieb, im Gegensatz zu dem Befunde am spontan klopfenden ganzen Herzen, die compensatorische Ruhe aus. Dastre schliesst hieraus: „La loi d'uniformité du rhythme est une propriété de l'appareil ganglionnaire du coeur.“

Neuerdings sind die Dastre'schen Versuche von Kaiser [2]) mit gleichem Ergebniss wiederholt worden. „Bringt man“, sagt Kaiser (a. a. O. p. 287), „die ganglienfreie Herzspitze durch eines der dazu zu Gebote stehenden Mittel zum Schlagen, so kann man durch intercurrente elektrische oder mechanische Reize eine intercurrente Zuckung auslösen; eine nachfolgende Pausenverlängerung kommt dabei niemals zur Beobachtung, während bei dem ganglienhaltigen Herz auf die Extracontraction stets eine längere Pause folgt!“

1) A. Dastre, Recherches sur les lois de l'activité du coeur. Paris 1882.

2) K. Kaiser, Untersuchungen über die Ursachen der Rhythmicität der Herzbewegungen. II. Zeitschrift für Biologie. Bd. XXX. N. F. XII. 1894. p. 279.

Kaiser erblickt hierin, wie Dastre, einen Beweis dafür, dass der Rhythmus der normalen Ventrikelcontraction nicht aus den Eigenschaften der Muskelsubstanz allein, sondern nur unter Mithilfe eines Nerven- und Gangliensystems im Ventrikel erklärt werden könne.

Ich werde im Folgenden zeigen, dass einmal die von Dastre und Kaiser gegebene Darstellung der Thatsachen unvollständig und die von Kaiser aufgestellte allgemeine Behauptung unrichtig ist, indem sich auch an der isolirten ganglienfreien Herzspitze die Erscheinung der compensatorischen Ruhe genau so wie am unversehrten Herzen künstlich hervorrufen lässt. Zweitens wird sich zeigen, dass, auch abgesehen von dieser Thatsache, die von Dastre und Kaiser gezogene Schlussfolgerung auf einer unzulässigen Voraussetzung beruht, womit denn auch dieser Beweis für die Mitwirkung von Nerven und Ganglien beim Zustandekommen des normalen Herzrhythmus hinfällig wird.

Ehe ich aber diese Beweisführung antrete ist es nöthig, die refractäre Periode des Herzens überhaupt etwas näher zu besprechen, da die auf dieselbe bezüglichen Thatsachen trotz der gründlichen und umfassenden Arbeiten von Marey und seinen Nachfolgern noch nicht vollständig genug bekannt sind und, wie ich glaube, in Betreff derselben einige irrthümliche Auffassungen sich eingeschlichen haben, welche einem weiteren Fortschritt in der Erkenntniss des Zusammenhanges der Erscheinungen der Herzthätigkeit leicht hindernd in den Weg treten könnten.

Ueber die „refractäre Phase" des Herzens.

Der Erfolg der Einschaltung eines künstlichen Reizes beim spontan oder infolge künstlicher Reizung regelmässig periodisch klopfenden Herzen kann nicht mit Sicherheit richtig beurtheilt werden, wenn nicht der Verlauf der durch die Systole gesetzten Erregbarkeitsänderungen der Herzmuskulatur unter den vorhandenen Umständen genau bekannt ist. Da nicht nur der Ventrikel, sondern auch die Vorkammer ein refractäres Stadium hat, sind diese zunächst für sich der Untersuchung zu unterwerfen, ehe man Kammer und Vorkammern in ihrem Zusammenwirken zu verstehen den Versuch wird machen dürfen.

Ich bespreche zunächst die auf die refractäre Phase des Ventrikels bezüglichen Thatsachen.

Mehrfach begegnet man jetzt der Ansicht, dass die während einer Systole herabgesetzte Erregbarkeit des Ventrikels schon im Laufe der Erschlaffung der Kammer ihre maximale Höhe wieder erreiche, m. a. W., dass die refractäre Phase das Ende der Diastole nicht überdauere. Nach Lauder Brunton und Cash[1]) würde sogar die Reizbarkeit des Ventrikels in der an seine Erchlaffung sich anschliessenden Pause alsbald wieder abnehmen. Für letztere Behauptung kann ich weder in der vorhandenen Litteratur, noch in meinen eigenen Versuchen einen Grund finden. Aber auch die erste, zu bedenklichen Consequenzen führende Ansicht ist nicht haltbar. Dies folgt eigentlich schon aus den bekannten Versuchen von Bowditch und Kronecker. Die Zeit während welcher die durch eine Systole geschwächte Anspruchsfähigkeit des Ventrikels wieder wächst, kann hiernach sehr viel länger währen als die Erschlaffung des Ventrikels, ja als die ganze Herzperiode. Bei dem mit normaler Frequenz klopfenden Herzen kann sich hiervon freilich nichts offenbaren, weil hier zwischen dem Ende einer V_d und dem Anfang der nächsten V_s keine oder keine genügend lange Pause vorhanden ist. Hier wird die, während der Diastole bis zu einer gewissen Höhe wieder angewachsene Erregbarkeit durch die neueintretende V_s sofort wieder herabgedrückt. Sorgt man aber, dass der Ventrikel mit längeren Pausen schlägt, so lässt sich zeigen, dass seine Reizbarkeit im Allgemeinen auch nach beendeter Erschlaffung noch zu wachsen fortfährt. Beim blutdurchströmten Herzen wird begreiflicherweise das Maximum der Erregbarkeit viel früher nach Ablauf der Systole erreicht als beim blutleeren, wo bei gewöhnlicher Temperatur fünf und mehr Sekunden dazu erforderlich sein können. Reizt man, wie zuerst Bowditch that, eine abgeklemmte oder abgeschnittene, aus sich selbst stillstehende Herzspitze in regelmässigen Intervallen durch je einen Inductionsschlag oder Stromstoss, so findet man bekanntlich, dass solche Reize, um

1) T. Lauder Brunton and Theod. Cash, On the effect of Electrical Stimulations of the Frogs Heart, and its Modification by Heat, Cold and the Action of Drugs. Proceed. of the Roy. Soc. of London. Vol. XXXV. 1883. p. 455.

unfehlbar zu wirken, durch um so längere Pausen von einander getrennt sein müssen, je schwächer sie sind. Wachsen die Pausen über eine gewisse, für die abgeschnittene Herzspitze im Allgemeinen eine Reihe von Secunden betragenden Dauer, so sinkt dann, wie gleichfalls Bowditch zuerst nachwies und ich immer bestätigt fand, die Anspruchsfähigkeit wieder etwas, kann aber durch wirksame Reizung in kürzeren Perioden wieder gehoben werden.

Lauder Brunton und Cash würden wohl nicht zu ihrem Ausspruch gekommen sein, wenn sie mit noch schwächeren Strömen gereizt hätten. Ihre „minimal stimulation“ war offenbar noch ein recht kräftiger Reiz, denn die refractäre Phase war für denselben bereits auf dem Gipfel der Systole vorbei.

Da die englischen Forscher am ganzen Herzen, nicht an der isolirten Herzspitze arbeiteten, könnte man glauben, dass hierin die Quelle eines wesentlichen Unterschiedes verborgen sei. Um so mehr als auch Marey, der gleichfalls am Herzen in toto experimentirte und den wesentlichen Einfluss der Reizstärke auf die Dauer des refractären Stadiums sofort erkannte und betonte, wie es scheint auch bei schwacher Reizung dies Stadium das Ende der Systole nicht oder nur wenig überdauern sah. Seine Worte sind: „Si l'excitation est faible, la periode réfractaire dure au moins pendant toute la phase systolique; quand l'excitation augmente de force, la phase réfractaire se réduit aux premiers instants de la systole ventriculaire et finit par disparaître tout à fait si l'excitation devient assez forte.“

Indessen lässt sich auch für das normale, unter den besten Ernährungsbedingungen befindliche Herz leicht nachweisen, dass die Erregbarkeit bis an das Ende, ja bis über das Ende der Diastole hinaus noch zu wachsen fortfährt. Dasselbe zeigten mir Versuche an Herzen, welche durch Stannius'sche Ligatur in Stillstand versetzt, entweder in situ, oder nach dem Herausschneiden durch electrische Reize zu regelmässigem Klopfen gebracht wurden. Die Unterschiede, welche in diesem Punkte etwa an der isolirten ganglienfreien Herzspitze zur Beobachtung kommen, sind nur quantitativer Art und völlig genügend aus den ungünstigeren Ernährungsbedingungen zu erklären, unter welchen sich in diesem Falle die Kammermuskulatur befindet.

Die Suspensionsmethode gestattet die bequemste Untersuchung

dieser Verhältnisse. Wie ich früher zeigte, hat die Einführung eines Hakens durch die Kammerspitze und das andauernde Registriren der Herzbewegungen bei einer Dehnung von etwa 1—1½ gr keine merkliche Schädigung der Herzthätigkeit zur Folge. Die Schwankungen in der Dauer der spontanen Herzperioden betragen bei Vermeidung aller sonstigen Eingriffe, oft kaum 2% während viertelstündiger Beobachtungsdauer — und länger brauchen unsere Versuche nicht zu dauern. So geringe Schwankungen haben aber keinen nachweisbaren Einfluss auf den Verlauf und die Dauer der systolischen Erregbarkeitsschwankung des Ventrikels. Und falls ein solcher Einfluss bestände, würde er durch Zahl und Anordnung der Einzelbeobachtungen in unsern Versuchen eliminirt worden sein.

Den Verlauf der systolischen Erregbarkeitsschwankung des *V* am spontan klopfenden in situ befindlichen Herzen bestimmte ich in der Weise, dass für verschiedene in symmetrisch auf und absteigender Folge wechselnde Reizstärken die Zeit gemessen ward, innerhalb welcher die Anspruchsfähigkeit des *V* nach Eintritt einer spontanen Systole zurückgekehrt war. Zu dem Ende wurde der spontan klopfende *V* nahe der Spitze während je etwa 5 Min. in constanten Intervallen von meist 4—10 Sek. mit einem Inductionsschlag gereizt. Der Reiz hatte, je nach der Phase in die er fiel und die dem Zufall überlassen blieb, keinen Erfolg (Gruppe A) oder rief eine „eingeschaltete“ Systole hervor (Gruppe B). Die Herzbewegungen wurden auf der mit etwa 15—20 mm Geschwindigkeit sich bewegenden berussten Cylinderoberfläche des Kymographion registrirt, darunter die Reizmomente und die Zeit in Stimmgabelschwingungen von $^1/_{10}$“. Es wurde dann für jeden einzelnen Reiz die Zeit gemessen, um welche derselbe nach Eintritt der letzt vorhergehenden spontanen Systole einfiel. Da die Zahl der Einzelversuche jeder Reihe gross war (50 u. mehr), mussten die Maxima von *t* in Gruppe A im Allgemeinen den Minima von *t* in Gruppe B gleich oder doch sehr nahe sein. War die Zahl der Einzelversuche einer Reihe so gross, dass man annehmen durfte sie seien gleichmässig über die verschiedenen Phasen der Herzperiode vertheilt, so bedurfte es gar nicht der zeitraubenden Ausmessung der Einzelversuche, sondern ergab schon einfach das Verhältniss der Zahl der Fälle A zur Zahl der Fälle B, das Verhältniss der Dauer der refractären Phase zur Dauer der Herz-

periode und, da die letztern bekannt, somit auch die absolute Dauer der ersteren.

Beispielsweise wurden in einem Falle, wo die Dauer T der spontanen Perioden zwischen 1,36 und 1,38″, die von V_s zwischen 0,70 und 0,72″ und die von V_d zwischen 0,19 und 0,20″ variirte und die künstlichen Reize sich in Intervallen von 9″ folgten, die nachstehenden Werthe gefunden.

Tabelle I.

1) Schwächste Reizung (300) 69 Versuche:
   A. Kein Erfolg (60 Fälle), wenn t kleiner als 1,09″ (1,08 Max.);
   B. Erfolg (9 Fälle), wenn t grösser als 1,09″ (1,10 Min.).
2) Mittelstarke Reizung (500) 53 Versuche:
   A. Kein Erfolg (30 Fälle), wenn t kleiner als 0,67″ (0,66 Max.).
   B. Erfolg (23 Fälle), wenn t grösser als 0,67″ (0,68 Min.).
3) Starke Reizung (700) 46 Versuche:
   A. Kein Erfolg, (19 Fälle), wenn t kleiner als 0,59″ (0,58 Max.);
   B. Erfolg (27 Fälle), wenn t grösser als 0,65″ (0,66 Max.).

Bei allen Reizstärken blieb ausserdem der Erfolg aus, wenn der Reiz unmittelbar (höchstens 0,05″) vor Anfang einer spontanen Systole einfiel; offenbar weil hier der vom spontanen Reiz ausgelöste Erregungsprozess bereits im Gange war.

Es schwindet also nach vorstehenden Versuchen die Anspruchsfähigkeit des Ventrikels unmittelbar vor Anfang der Systole, im Anfang des Stadiums der latenten Reizung, kehrt erst ganz kurz vor Beginn der Diastole zurück und wächst dann bis wenigstens 0,2″ über das Ende der Diastole hinaus. Wäre die Dauer der spontanen Perioden und speziell der Pause noch länger gewesen, so würde vielleicht ein noch längeres Wachsen der Erregbarkeit sich mittelst noch schwächerer Reize haben nachweisen lassen. In jedem Falle — und darauf kommt es uns zunächst an — ist bei dem normal klopfenden, blutdurchströmten Herzen die Reizbarkeit des Ventrikels nicht schon während der Diastole wieder so gross geworden, wie sie werden könnte, falls nicht eine neue Erregung sie alsbald wieder herabsetzte.

Dass es sich hier nicht um eine Eigenthümlichkeit des ganglienhaltigen Herzens handelt, zeigten Versuche an der abgeschnittenen Herzspitze, von denen ein typisches Beispiel mitgetheilt sei. Die *V*-Spitze wurde hier in regelmässigen Intervallen von 5″ durch einen Schliessungsinductionsschlag in Contraction versetzt, dem nach wechselnder Zeit (*t*) ein Oeffnungsschlag nachgesandt wurde. Derselbe hatte wiederum, je nach der Phase, in welche er fiel, keinen Effect (Gruppe A) oder löste eine Systole aus (Gruppe B). Die Dauer der V_s betrug von Anfang bis zu Ende des Versuchs etwa 0,55″, die der Diastole ungefähr ebenso viel.

Die Ergebnisse waren folgende:

Tabelle II.

1) Schwacher Oeffnungsschlag ($i = 100$)
   A. Kein Erfolg, wenn *t* kleiner als 1,10″ (Max. 1,09″);
   B. Erfolg, wenn *t* grösser als 1,10″ (Min. 1,11″).
2) Mittelstarker Oeffnungsschlag ($i = 300$)
   A. Kein Erfolg, wenn *t* kleiner als 0,61″ (Max. 0,60″);
   B. Erfolg, wenn *t* grösser als 0,61″ (Min. 0,62″).
3) Starker Oeffnungsschlag ($i = 600$)
   A. Kein Erfolg, wenn *t* kleiner als 0,42″ (Max. 041″);
   B. Erfolg, wenn *t* grösser als 0,40″ (Min. 0,41″).
4) Mittelstarker Oeffnungsschlag ($i = 300$)
   A. Kein Erfolg, wenn *t* kleiner als 0,64″ (Max. 0,63″);
   B. Erfolg, wenn *t* grösser als 0,64″ (Min. 0,65″).
5) Schwacher Oeffnungsschlag ($i = 100$)
   A. Kein Erfolg, wenn *t* kleiner als 1,41″ (Max. 1,40″),
   B. Erfolg, wenn *t* grösser als 1,39″ (Min. 1,40″).

Der Versuch zeigt zugleich, wie mit der Zeit die Wiederherstellung der durch die Systole geschwächten Reizbarkeit langsamer erfolgt. Der schwächste Reiz, der zu Anfang schon 1,10″ nach Anfang einer Systole, also am Ende der Diastole Erfolg hatte, wirkte am Ende des Versuchs (15 Minuten später) erst nach 1,40″, also etwa 0,3″ nach Ablauf der V_d.

Aus unseren Versuchen ergab sich noch ein anderes, die Dauer der refractären Phase betreffendes Resultat, welches um so mehr nähere Besprechung verdient, als es zu Marey's, Dastre's und Kaiser's Angaben im Widerspruch zu stehen scheint.

Es betrifft die Dauer des Stadiums der latenten Reizung des Ventrikels bei direkter Erregung mit electrischen Strömen im Verlauf der Systole und Diastole.

Wie schon erwähnt, sah Marey bei hinreichend starkem Reize, namentlich leicht beim erwärmten Herzen, das refractäre Stadium ganz schwinden, so dass nun schon ein im Anfang einer spontanen V_s einfallender Inductionsschlag eine Systole auslösen konnte. Diese begann .aber immer erst nach Beendigung der im Gang befindlichen Systole, ja eventuell erst am Ende der Diastole, derart, dass die Dauer der Latenz um so länger war, je länger vor Ablauf der Systole der Reiz einfiel. Am erwärmten Herzen konnte sie von Anfang der Systole bis zum Ende der Diastole nach den beigegebeben Curven gewiss mehr als 0,5″ dauern.

Ueberhaupt hängt nach Marey die Dauer des Latenzstadiums bei jeder Reizstärke von der Phase ab, in welche der Reiz fiel, und zwar so, dass sie auch für solche Reize, die während einer Diastole einsetzen, um so länger ist, je weiter vor dem Ende der Diastole letzteres geschieht. Er sagt: „Le retard va toujours en diminuant à mesure que le coeur est excité dans une phase plus avancée de sa diastole.“ Schliesslich wird die Latenzdauer „presque nul“.

An der Richtigkeit der thatsächlichen Angaben von Marey ist natürlich nicht zu zweifeln, um so weniger, als sie durch Abbildungen von Cardiogrammen belegt sind, welche keine andere Auffassung zuzulassen scheinen, als die ihnen von ihrem Autor gegebene. Irrthümlich nur würde es nach meinen Erfahrungen sein, wenn man meinen wollte, dass es sich hier um ein, der Kammermuskulatur überhaupt zukommendes Verhalten handle. Wenn man die Reizung auf die Herzspitze beschränkt, sei es nun, dass man an der abgeschnittenen oder abgebundenen Kammerspitze experimentirt oder mit solchen Stromstärken und in solcher Entfernung von der Kammervorkammergrenze — reizt, dass die hier gelegenen Theile (Atrien, Bulbus, Kammerbasis) nicht direct erregt werden können, so finde ich ausnahmslos folgendes, von Marey's Befunden abweichende Verhalten.

Gleichviel, in welcher Phase der Reiz fällt und welches seine Stärke ist, wenn er überhaupt Erfolg, d. h. eine V_s zur Folge hat, so tritt dieser sogleich ein, d. h. nach einem sehr kurzen Latenzstadium, durchschnittlich etwa nach 0,1″. Reize, die

in die Zeit zwischen Anfang des Latenzstadiums und nur etwa 0,1″ vor dem Gipfel einer Systole fallen, hatten überhaupt keinen Erfolg [1]), selbst Ströme von solcher Stärke nicht, wie sie bei ganz aufgeschobener secundären Spirale von einem gewöhnlichen Schlittenapparat bei vier grösseren Grove'schen Zellen im primären Kreis und Metallelectroden mit kleiner interpolaren Strecke erhalten wurden.

Im Allgemeinen wuchs natürlich die Dauer der Latenz mit Abnahme der Reizstärke, aber überschritt doch nicht merkbar die grössten absoluten Werthe, wie sie erhalten werden, falls der Reiz in die Phase höchster Reizbarkeit, in die Pause nach der V_a fiel.

Diese höchsten Werthe aber erreichten bei frischen Herzkammern kaum je 0,2″, bleiben also um das Drei- und Mehrfache hinter der von Marey gefundenen zurück. Temperaturunterschiede können das abweichende Resultat nicht erklären. Viele meiner Versuche wurden zwar in der warmen Jahreszeit zum Theil bei Stubentemperaturen von 20° und mehr angestellt, aber auch bei niederen Wärmegraden (13° C. bis 15°) blieben, selbst an abgeschnittenen blutleeren Kammern, die maximalen Latenzwerthe immer noch um ein Mehrfaches hinter den von Marey bei künstlich erwärmten, blutdurchströmten Herzen erhaltenen Maxima zurück. Andererseits sank die Dauer nie auf „fast Null“ wie bei Marey, sondern betrug im Minimum immer noch etwa 0,05″.

Da Marey keine genaueren Zeitangaben macht und seine Cardiogramme auch bei nur geringer Geschwindigkeit der Schreibfläche (wohl weniger als 10 mm in der Secunde) gezeichnet sind, darf man die letztere Differenz wohl nur für eine scheinbare halten.

Jener erste Unterschied aber bedarf einer Erklärung. Ich glaube sie darin finden zu müssen, dass Marey's Versuchseinrich-

1) Ich befinde mich hier wesentlich in Uebereinstimmung mit Chr. Lovén, der mit Hildebrand die Marey'schen Ergebnisse nachprüfte und Reizung der Kammer während der ganzen Systole immer wirkungslos fand. Chr. Lovén, Ueber die Einwirkung von einzelnen Inductionsschlägen auf den Vorhof des Froschherzens. Mittheilungen aus dem physiologischen Laboratorium d. carolin. medico-chir. Instituts zu Stockholm. 4. Heft. 1886. p. 5. Nach E. Gley sind auch beim Hundeherzventrikel die stärksten electrischen Reize erst wirksam, wenn sie am Ende der Systole einfallen. E. Gley, Recherches sur la loi de l'inexcitabilité pèrödique du coeur chez les mammifères. Arch. de physiol. norm. et path. 5m Sér. T. I. 1889. p. 503 u. flg.

tung, wie schon Lovén bemerkt hat, eine Reizung der Ventrikelbasis und der angrenzenden Theile (Atrium und Bulbus) nicht ausschloss. Es war ja auch Marey gar nicht um isolirte Reizung der Herzspitze zu thun. Da die Arme des Herzmyographs, welche das blosgelegte Herz zwischen sich klemmten, bei Marey zugleich als Electroden dienten, und nach Beschreibung und Zeichnung zu urtheilen, die an die Basis grenzende Partie des Ventrikels zwischen sich fassten, müssen schon schwache electrische Ströme alle an der AV-Grenze zusammenstossenden Herzabschnitte getroffen haben. Und so ist die Vermuthung begründet, dass die von Marey künstlich hervorgerufenen Systolen in jenen Fällen längerer Latenz nicht einer directen Erregung der Muskulatur der Herzspitze, sondern indirecter Reizung ihren Ursprung verdankten, sei es durch Vermittlung der Muskulatur der Vorkammern, sei es des Bulbus, oder der Muskelbündel an der Kammerbasis, welche den Ventrikel mit den Vorkammern und dem Bulbus verbinden. An letztere Commissuren darf vielleicht vor Allem gedacht werden. Es liegen ja in der Kammerbasis, besonders in der Gegend der Atrio-Ventrikelklappen Muskelfaserbündel, welche morphologisch wie physiologisch von der Muskulatur der Herzspitze abweichen, physiologisch besonders in sofern, als sie einmal überhaupt schon durch schwächere Reize als die Herzspitze erregt zu werden scheinen, und dann, weil sie auf mechanische, chemische, thermische oder elektrische Reizung nicht nur mit einer einzelnen, sondern ähnlich, wie ich dies für die Muskelfasern des ganglienfreien Bulbus arteriosus noch spezieller nachwies, mit mehreren Contraktionen antworten, also nach einem einmal erfolgten Anstoss hin selbständig, automatisch, noch einen oder mehrere Reize zu entwickeln vermögen.

Man kann sich denn auch mittels unserer Suspensionsmethode überzeugen, dass Reizung an der AV-Grenze andere Resultate gibt, als Reizung der Herzspitze, und dass speziell hier einmal schon in den Anfang einer Systole fallende Reize Erfolg haben können, und dass zweitens die „eingeschalteten" V_s, namentlich bei nicht starker Reizung, nicht selten erst nach viel längerer Latenzdauer (unter Umständen nach 0,5" und mehr) auftreten [1]. Häufig zeigt

1) Es kommen gelegentlich auch Fälle vor, wo ein einzelner Extrareiz an der AV-Grenze des spontan klopfenden Herzens nicht nur eine, sondern zwei Extrasystolen nacheinander hervorruft.

dann das Cardiogramm sofort, dass der Reiz in der That primär nicht eine V_s, sondern eine A_s hervorrief, die erst ihrerseits auf dem gewöhnlichen Wege der Uebertragung Veranlassung gab zum Entstehen einer „eingeschalteten“ V_s. Bei Anwendung der ein-

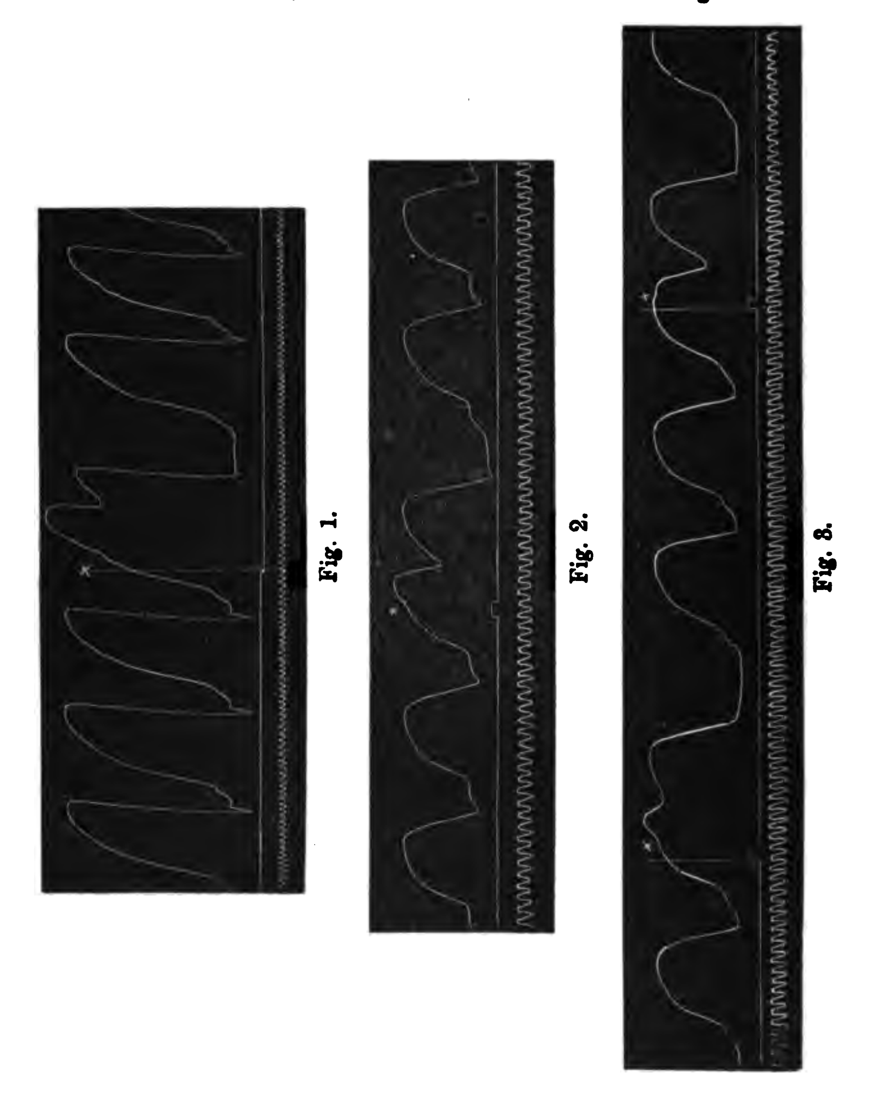


Fig. 1. Fig. 2. Fig. 3.

fachen Kammersuspension am Herzen in situ, wo A_s und V_s also auf derselben Curve, vom selben Schreibhebel verzeichnet werden, verräth sich dann die stattgehabte Erregung von A_s durch eine Erhebung, welche, wenn sie in den Verlauf einer V_s fällt, den

Gipfel der Curve über die Höhe hebt, welche durch die *V.* allein erreicht worden wäre.

Einige Beispiele hiervon geben Figur 1, 2 und 3, in denen der Moment des Eintritts der *A.* mit einem Kreuz bezeichnet ist. Durch Summation von Reizen, welche nur den *V* direct erregen, kann, wie bekannt, die Contractionsgrösse des *V* nicht gesteigert werden. Der erste Reiz gibt schon die maximale Verkürzung der Fasern. Ich sehe hierbei natürlich ab von dem Fall, wo eine sehr lange Pause der Reizfolge vorherging, und damit die Treppe von Bowditch sich einmischen kann.

Registrirt man *A* und *V* für sich, so ergibt sich das nämliche, nur noch unmittelbar überzeugender. Bei stärkeren Reizen, falls sie nach einer *V*-Systole oder doch nicht mehr in der refractären Phase der Kammermuskulatur einfallen, werden begreiflicher Weise leicht *A* und *V* gleichzeitig erregt. Man erhält dann bei Doppelsuspension Curven, wie Fig. 4 (Versuch vom 7. November 1893), bei einfacher Suspension Cardiogramme wie Fig. 5 (Versuch vom 1. September 1894).



Fig. 4.

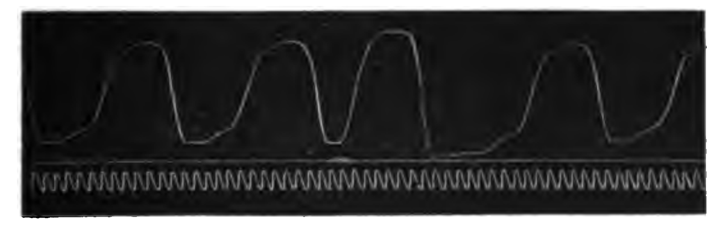


Fig. 5.

An eine Mitwirkung von Ganglien und Nervenfasern bei der Erklärung der von Marey gefundenen langen Latenzzeiten zu denken, liegt kein Grund vor, seitdem überzeugend bewiesen ist, dass die Uebertragung der Reize von *A* auf *V* (bez. *V* auf *B*) und umgekehrt durch Muskelleitung erfolgt, und zwar durch die sogenannten Blockfasern, welche die Erregung sehr langsam fortpflanzen.

Die refractäre Phase der Vorkammer.

Wie Chr. Lovén mit Hildebrand an den Herzen von Kaninchen, Frosch und Aal fand, hat auch die Vorkammer ihre refractäre Phase. Und zwar sind nach Lovén die Vorhöfe „während ihrer Systole für jede Reizung unempfindlich; während ihrer Diastole sind sie in einem Zeitabschnitt, welcher der Systole der Kammer entspricht, erregbar". Die Versuche Lovén's wurden anfangs wesentlich nach Marey's Methode angestellt, doch mit dem Unterschiede, „dass die Reizung nach Belieben an der Kammer oder am Vorhof geschehen konnte". Da es hierbei aber nicht möglich war, „die Phase der Vorhofcontraction, welche einem bestimmten Abschnitt der Kammercontraction entsprach, zu bestimmen", und in Folge dessen „einige scheinbare Abweichungen von den eben angeführten Gesetzen nicht genau zu erklären" waren, modificirte Lovén die Versuche in der Art, dass er die Bewegungen der herausgeschnittenen Vorkammern des Frosches direkt registrirte. Die schliesslich bevorzugte Methode bestand in folgendem Suspensionsverfahren. Der Vorhof wurde nach Ligatur an der Atrioventriculargrenze abgeschnitten, so dass meist noch ein sehr kleiner Theil des Sinus im Zusammenhang mit dem Vorhof blieb. Der Ligaturfaden wurde an einer Korkscheibe fixirt, durch den zwischen den beiden Aortazweigen hervorragenden Theil des Vorhofs ein Häkchen gestochen, das mittels eines Fadens an einem, um eine vertikale Axe drehbaren Schreibhebel zog, dessen Spannung durch ein sehr dehnbares Kautschukstreifchen geregelt werden konnte. Als Reize dienten Oeffnungsinduktionsschläge eines von 2 Grove's oder 2 Grennet's gespeisten Schlitteninduktoriums, als Elektroden Insektennadelspitzen an feinen Golddrähten, die in 1 mm Abstand durch ein Stückchen einer dünnen Kautschukmembran gestochen, an den Vorhof angedrückt wurden und allen Bewegungen desselben folgen konnten. Der Erfolg der Reizung war hauptsächlich vom Ort derselben abhängig. Lag derselbe nahe der Sinusgrenze, so traten complicirtere Erscheinungen ein, speziell rief ein einzelner Reiz dann oft mehrere A_s hervor, oder das Tempo der spontanen A_s wurde auf einige Zeit beschleunigt. In den Fällen, wo Reizung des Sinus mit Wahrscheinlichkeit ausgeschlossen war, ergab sich, „dass ein einzelner Inductionsschlag zureichender Stärke beim Vor-

hof während der ganzen Diastole, einschliesslich der Pause, oder wenigstens bis zu demjenigen Punkte, wo die Latenzdauer der nächstfolgenden spontanen Contraktion anfängt, eine Contraktion auszulösen im Stande" war.

Meine eigenen Versuche bestätigen im Ganzen die Lovén'schen Angaben. Ich habe dabei, ausser an den herausgeschnittenen Vorkammern, auch den Erfolg künstlicher, direkter Reizung des Atrium, sowie indirekter Erregung durch Antiperistaltik vom Ventrikel her an dem in situ befindlichen, blutdurchströmten, normal pulsirenden Herzen, wie auch an dem im ganzen herausgeschnittenen Herzen des Frosches, untersucht, wobei ich mich einmal der einfachen Kammersuspension, in sehr vielen Fällen aber auch der Doppelsuspension von *A* und *V* in der früher beschriebenen Weise bediente. Als Elektroden fungirten Silberdrähte, mit Lungenspitzen oder Dünndarmenden vom Frosch überzogen, die bei direkter Reizung von *A* den Vorkammern, mit Vermeidung der Sinus Nähe und der *AV*-Grenze, so angelegt wurden, dass sie während deren Bewegung dauernden Contakt bildeten. Die Reize waren Schliessungs- oder Oeffnungsinduktionsströme, die von einem du Bois-Bowditch'schen Schlittenapparat geliefert wurden, den 1—4 grössere Grove'sche Zellen speisten. Die Frösche waren schwach curarisirt.

Die Versuche konnten dann Tage lang am selben Herzen fortgesetzt werden.

Die Maxima der benutzten Reizstärken übertrafen in Wirksamkeit weit die der physiologischen Reize. Schon bei halb oder noch weniger weit aufgeschobenen Rollen hatten dabei die Induktionsströme, wenn sie *A* direkt trafen, meist eine schädigende Wirkung insofern, als sie — auch einzeln oder in langen Pausen angewandt — die Grösse der A_s herabsetzten, bei häufigerer Wiederholung (in Pausen von 2″ und weniger) schliesslich bis zur Unmerklichkeit. Diese schwächende Wirkung äusserte sich, auch wenn der elektrische Reiz keine A_s hervorrief, und auch keinen Einfluss auf das Tempo der spontanen Bewegungen hatte, so dass von Ermüdung durch Contraktion nicht die Rede sein konnte. Es handelt sich hier wohl um die von Coats und Nuel entdeckte schwächende Wirkung, welche durch Vagusreizung ohne Aenderung des Tempo hervorgerufen werden kann. Eine Reizung der im Atrium verlaufenden Vagusäste ist ja kaum auszuschliessen, wenn die Vorkammern irgendwo

elektrisch erregt werden. Zwei Beispiele dieser Wirkung sind in Fig. 6 und Fig. 7 abgebildet.

Bei längeren Versuchsreihen wurden begreiflicherweise nur geringe Reizstärken verwandt. Inzwischen war auch bei den



Fig. 6.



Fig. 7.

stärksten Strömen das Ergebniss insofern immer gleich, als ein während der A_s und des ihr unmittelbar vorgehenden Latenzstadiums von etwa 0,1″ einfallender Reiz keine Vorkammersystole auslöste, auch keinen Einfluss auf den Verlauf der bereits begonnenen Systole hatte.

Erst auf dem Gipfel der A_s einsetzende Reize konnten wieder Erfolg haben, doch auch diese nur, wenn sie sehr stark waren; schwächere Reize lösten eine A_s erst bei späteren Einsetzen aus, oft erst lange nach Ablauf der A_d, um so später, je schwächer sie waren. Wie bei der Kammer liess sich, sowohl am spontan, nicht zu schnell klopfenden, in situ befindlichen oder ausgeschnittenen Herzen, wie an den isolirten Atrien leicht mit den dort beschriebenen Versuchsanordnungen nachweisen, dass die durch die Systole geschwächte Anspruchsfähigkeit für elektrische Reize ganz allgemein auch nach Ablauf der A_d noch fortwächst. Uebersteigt die Dauer der Pause zwischen den einzelnen A_s nicht eine Reihe von Sekunden, so pflegt, auch beim blutdurchströmten Vorhof, die Reizbarkeit bis ans Ende der Pause, oder doch wenigstens bis ans Ende der ersten oder zweiten Sekunde nach Ablauf der A_s noch zu steigen. Das Steigen erfolgt anfangs während der A_d rasch, weiterhin mit abnehmender Geschwindigkeit. Eine vorübergehende Wiederabnahme der Anspruchsfähigkeit, wie sie Lovén in gewissen, allerdings keine sichere Deutung zulassenden Fällen gefunden zu haben scheint, ist mir nicht vorgekommen.

Wie bei der Kammer war auch bei der Vorkammer das Stadium der latenten Reizung für die „eingeschaltete" A_s immer sehr kurz, nicht länger als höchstens etwa 0,2'', bei stärkeren Reizen nur 0,1'' und weniger, auch wenn dieselben am Ende einer Systole einfielen.

Lagen die Elektroden der *AV*-Grenze oder der *Si*-Grenze sehr nahe, so kamen bei hinreichender Reizstärke gelegentlich dieselben Ausnahmen vor wie beim Ventrikel: es wirkte ein Reiz, auch wenn er in die refractäre Phase der A_s fiel, und häufig erfolgten dann nicht eine, sondern zwei oder mehrere „eingeschaltete" Contractionen. Der erste Erfolg trat aber nicht nach dem gewöhnlichen kurzen Latenzstadium ein, sondern erheblich später, unter Umständen erst nach 0,6'' und noch später. Offenbar handelte es sich um direkte Reizung der *V*-Basis oder des Sinus bezüglich der Blockfasern, welche dann ihrerseits durch physiologische, antiperistaltische, bezüglich peristaltische Leitung *A* nachträglich zur Contraction veranlassten. Es ist hiermit ganz in Uebereinstimmung, was Lovén (a. a. O. p. 16) angibt: „Wenn die Elektroden eben an der Vorhofs-Sinusgrenze angelegt sind, ist eine Reizung mittels einzelner Induktionsschläge auch während der Vorhofssystole wirksam; der Verlauf gestaltet sich in solchem Falle aber ganz anders. Der Reiz löst nämlich dann nicht eine einfache, sondern eine Reihe von Contraktionen aus, welche in ungleich schnellem Rhythmus, immer aber schneller als die spontanen Contraktionen nacheinander folgen. Die erste dieser Contraktionen fängt nur nach einer relativ langen Latenzdauer nach dem Ende derjenigen spontanen Contraktion, während welcher die Reizung stattgefunden hat, an." Lovén sucht die Ursache dieses beschleunigten Rhythmus, der älteren Anschauung entsprechend, in einer Wirkung auf die Remak'schen Ganglienhaufen des Sinus. Die bei Reizung des *A*, ohne Miterregung von *Si* erfolgenden Extracontraktionen betrachtet er, wie wir, im Allgemeinen als den „Erfolg einer direkten Muskelreizung", „denn derselbe Erfolg wird ja auch bei Reizung der ganglienfreien Herzspitze beobachtet".

Bei indirecter Reizung des Vorhofs durch Antiperistaltik vom Ventrikel her habe ich eine Beschleunigung der spontanen Bewegungen von *A* nie beobachtet. Ebensowenig eine Verlangsamung des Tempo, welche dagegen bei directer electrischer Erregung der Vorkammer sehr wohl eintreten

kann und gewiss von Stromzweigen herrührt, welche verzögernde Vagusfasern trafen.

Eine Reizung dieser ist ja ebenso schwierig auszuschliessen wie Reizung des Sinus und der Venen mit ihren automatischen Apparaten und daran ist es ohne Zweifel zuzuschreiben, dass directe elektrische Reizung der Vorkammern das Tempo der Pulsationen in viel mannigfaltigerer und scheinbar regelloserer Weise beeinflusst, als indirekte Reizung durch Leitung vom V her oder als direkte elektrische Reizung der V-Spitze das Tempo der V_s.

Wir werden hierauf noch zurückzukommen haben.

Ueber die „compensatorische Ruhe“ des Herzens.

Durch die im Vorstehenden mitgetheilten Thatsachen werden wir nun in den Stand gesetzt, den Nachweis zu liefern, dass die sogenannte compensatorische Ruhe des Herzens nicht durch das Herznervensystem vermittelt wird, sondern in den Eigenthümlichkeiten der Muskelsubstanz begründet ist.

Ich bespreche zunächst die compensatorische Ruhe des Ventrikels. Die nähere Analyse der hierbei zu beobachtenden Erscheinungen wird uns dann auf die schon von Lovén bemerkte, aber noch nicht näher untersuchte compensatorische Ruhe der Vorkammern führen.

Als wichtigster Befund sei die Thatsache vorangestellt, dass auch die ganglienfreie, isolirte Herzspitze die compensatorische Ruhe zeigt und zwar mit derselben Sicherheit und in ganz derselben Weise wie der unversehrte Ventrikel. Man muss nur die Herzspitze nicht, wie Dastre und Kaiser thaten, durch continuirliche bez. anhaltende äusserst rasch intermittirende Reize in regelmässiges Klopfen versetzen, sondern durch Einzelreize, welche sich in grösseren, constanten Intervallen, von etwa der Dauer der normalen Herzperioden oder darüber, folgen. Und weiter dürfen diese Einzelreize nicht so stark sein, dass sie auch bei sehr erheblicher Verkürzung der sie trennenden Intervalle noch unfehlbar wirken würden.

In Fig. 8 und 9 sind zwei Versuchsbeispiele abgebildet. In beiden Fällen war der Ventrikel einer eben getödteten Rana esculenta etwa an der Grenze des oderen unb mittlern Drittels

abgeschnitten, mit Nadeln auf einer Korkplatte fixirt und mittels eines durch die V-Spitze geführten Häkchens und Fadens an dem 6 mal vergrössernden Schreibhebel suspendirt. Die Belastung be-

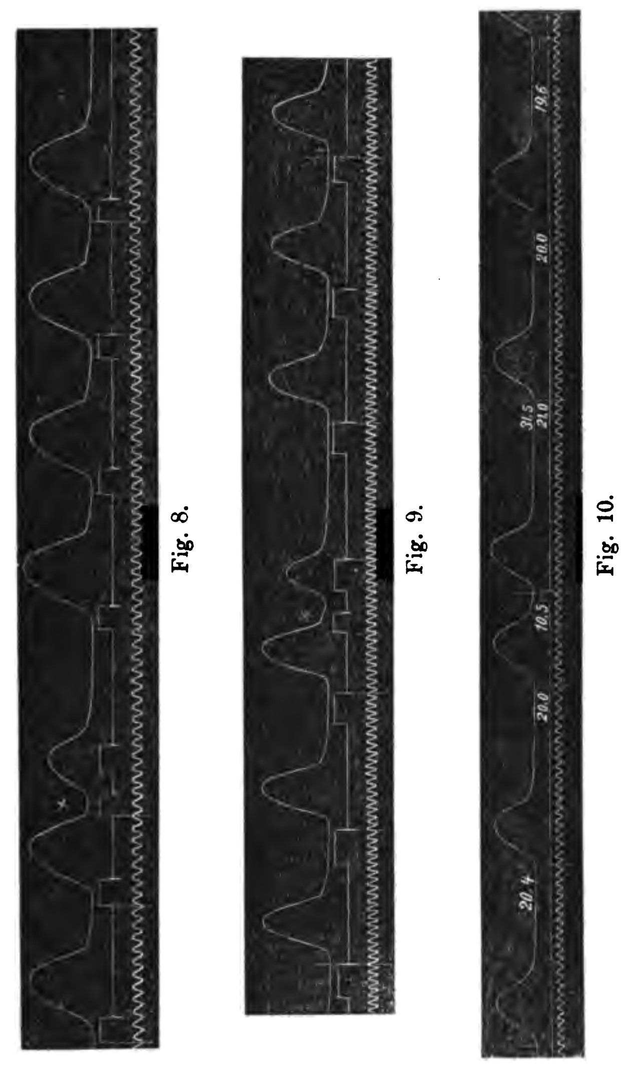


Fig. 8. Fig. 9. Fig. 10.

trug 1 gr, die Temperatur 20 ° C.[1]). Der aus sich selbst ruhige ***V*** ward mittels des Polyrheotoms durch Schliessungsschläge (Fig. 8)

1) In den Figuren sind Schliessung und Oeffnung des primären Stroms (1 Grove) und die Zeit, in Stimmgabelschwingungen von 0,1'' registrirt.

bezüglich Oeffnungsschläge (Fig. 9) in regelmässigen Intervallen von 1,10—1,13„ (Fig. 8) bezüglich 1,70—1,80„ (Fig. 9) zur Contraktion gebracht. Bei x ist ein Extrareiz von gleicher Stärke eingeschaltet, welcher eine Extrasystole hervorruft. Diese ist, der kürzeren Pause entsprechend, kleiner als die gewöhnlichen Systolen und wird von einer längeren Pause gefolgt, da der zunächst nach dem Extrareiz einfallende Induktionsschlag keine Wirkung hat.

Die Erklärung liegt auf der Hand: der auf die eingeschaltete Systole folgende gewöhnliche Reiz findet den V noch im Stadium der herabgesetzten Erregbarkeit und wirkt deshalb nicht. Erst der nächste hat wieder Erfolg und so entsteht die auf die Extrasystole folgende „compensatorische" Ruhe, welche wie beim normal klopfenden Herzen die gewöhnliche Pause um genau so viel übertrifft, als die der Extrasystole vorhergehende Herzperiode zu kurz war. Die Summe beider ist gleich der Dauer zweier normaler Herzperioden.

Hat der Extrareiz keinen sichtbaren Effekt, m. a. W., löst er keine V_s aus, so kommt, wie beim ganglienhaltigen spontan klopfenden V_s die nächste Systole zur gewöhnlichen Zeit und in gewöhnlicher Stärke.

Bei continuirlicher Reizung des Ventrikels, wie Dastre und Kaiser sie anwandten, wird zwischen der eingeschalteten Systole und der nächsten nur so viel Zeit verlaufen als zur Rückkehr der Anspruchsfähigkeit für die angewandten continuirlichen Reize nöthig ist. Diese Zeit wird aber im Allgemeinen nicht länger sein als die zwischen zwei gewöhnlichen Systolen. Denn die einfache Systole ist bereits maximal und damit nach aller Wahrscheinlichkeit auch die durch sie bedingte Herabsetzung der Erregbarkeit. Höchstens darf man eine kleine Verlängerung der Pause nach einer eingeschalteten Systole erwarten, wenn diese sehr bald auf eine normale folgte, weil die Abnahme der Erregbarkeit durch zwei rasch aufeinanderfolgende Systolen zu ihrer Beseitigung vielleicht doch eine etwas längere Zeit erfordern wird, als die durch eine einzelne hervorgerufene.

Schon in Dastre's Figuren 5 und 6 glaube ich eine Andeutung des letzteren Verhaltens zu erkennen. In Fig. 5 ist, soweit die geringen und zudem nicht controlirbaren Werthe der Zeitabscissen zu urtheilen gestatten, die auf die Extrasystolen a und c folgende Pause merklich länger als die nächstvorhergehende,

und ebenso in Fig. 6c. Inzwischen zeigt die Dauer der Perioden in diesen Figuren auch ausserdem schon beträchtliche Schwankungen. Zufall ist also nicht ausgeschlossen.

Deutlich offenbarte sich der erwartete, immerhin geringe Einfluss in eigens zu diesem Zweck von mir angestellten, eine genauere Zeitmessung gestattenden Versuchen. Ich theile ein Beispiel mit, in welchem der continuirliche Reiz nicht ein elektrischer war, sondern durch die Verletzung gesetzt wurde. Es wurde nämlich der *V* unmittelbar an der *A*-Grenze abgeschnitten und gerieth infolge hiervon, wie gewöhnlich, in regelmässiges Klopfen. Die Dauer der Perioden war bald recht constant, wuchs im Laufe der 6 Minuten, welche der Versuch beansprucht, nur von 2,0″ auf 2,30″. In Intervallen von etwa 8 bis 10″ ward ein Extrareiz (Schliessungsinduktionsstrom) durch die *V*-Spitze geschickt. Rief derselbe eine Extrasystole hervor und fiel diese kurz nach einer gewöhnlichen V_s ein, so war die nächste Pause ein klein wenig verlängert, wie die folgende Uebersicht zeigt. Mit T_1, T_2 u. s. f. ist die Dauer der spontanen Perioden, mit T_ϱ die der Extraperiode bezeichnet. Es wurden jedesmal die 3 dem Reiz vorausgehenden und die zwei demselben folgenden Perioden ausgemessen. Einer der Versuche ist in Fig. 10 abgebildet.

Tabelle III.

Im Mittel aus	T_1	T_2	T_3	T_ϱ	T_4	T_5
10 Versuchen	2,109″	2,114″	1,105″	2,229″	2,106″	2,097″
Maximum	2,32″	2,38″	1,75″	2,48″	2,35″	2,33″
Minimum	2,00″	2,00″	0,80″	2,10″	1,98″	1,99″

Die Verlängerung der Pause betrug hiernach durchschnittlich noch nicht 6 %, ein Werth wie er unter entsprechenden Bedingungen auch für die isolirte Herzspitze gilt.

Der Versuch ist deshalb auch lehrreich, weil er zeigt, dass auch beim ganglienhaltigen Ventrikel die compensatorische Ruhe so gut fehlen kann, wie an der isolirten Herzspitze, dann nämlich, wenn die Pulsationen einer continuirlichen Reizung ihren Ursprung verdanken.

Die compensatorische Ruhe des Ventrikels beim spontan, normal klopfenden Herzen, erklärt sich hiernach ganz einfach aus

der Annahme, dass der normale Reiz für den Ventrikel nicht ein continuirlicher, sondern ein periodischer ist, und zwar ein solcher, dessen Periode gleich der der Vorkammersystolen ist. Trifft der von A kommende normale Reiz den V sehr bald nachdem dieser eine Extrasystole ausführte, so wird er nicht wirken können, weil die Anspruchsfähigkeit des V für ihn noch nicht wieder hergestellt ist. Es bleibt also einfach eine V_s aus und erst wenn mit der nächsten A_s eine neue Reizwelle die Muskulatur vom V erreicht, folgt wieder eine Kammersystole.

So plausibel diese letzte Erklärung und so richtig sie nachweislich in gewissen Fällen ist, verhält sich, wie wir weiter unten zeigen werden, die Sache in Wirklichkeit doch oft noch complicirter, infolge der Rückwirkung, welche die Extrasystole des Ventrikels, vermöge antiperistaltischer Fortpflanzung auf die Vorkammern und diese ihrerseits auf den Sinus ausüben können. Aber keinesfalls darf man gegen unsere Erklärung sich auf die Stärke des physiologischen Ventrikelreizes berufen wollen. Der normale, von A kommende Reiz ist im Gegentheil ein schwacher Reiz, verglichen mit einem direkt die Muskelwand von V treffenden elektrischen Strom mässiger Stärke. Denn bekanntlich lässt sich der V von A aus nicht in so rasche Pulsation versetzen, wie durch direkte periodische Reizung. Für den physiologischen, von A ausgehenden Reiz dauert die refractäre Phase des V im Allgemeinen bis etwa ans Ende der V-Diastole oder etwas länger, was dem Verhalten gegen schwache direkte elektrische Reize entspricht.

Ist unsere Auffassung richtig, so wird man es beim spontan und normal klopfenden Ventrikel durch Einschaltung nicht einer einzelnen, sondern mehrerer Extrasystolen von V rasch hintereinander, dahin bringen können, dass auch der zweitfolgende, drittfolgende u. s. w. vom Vorhof kommende normale Reiz noch unwirksam bleibt, der erste wieder wirksame aber zur normalen Zeit erscheint, d. h. zu derselben Zeit, wo auch ohne die Reihe der vorausgehenden Extrasystolen eine V_s gekommen sein würde. Die Summe der Zeitdauer aller eingeschalteten und der letzten diesen vorausgegangenen, abgekürzten, normalen Ventrikelperiode wird also immer nur sprungweise, um die Dauer einer oder mehrerer normalen ganzen Herzperioden wachsen, d. h. stets ein ganzes Vielfaches

der normalen Herzperioden sein müssen, falls nicht etwa — was bei einem einzelnen Induktionsschlag als Reiz nicht wahrscheinlich — die künstliche Reizung vom V auf reflektorischem Wege das Tempo der spontanen Reize beeinflusst.

Ginge der Reiz für die normale Kammersystole von motorischen Ganglienzellen an der V-Basis aus, deren Thätigkeit durch die Kammersystole selbst, mittels cellulipetaler Nerven, etwa in der Weise wie Kaiser sich dies vorstellt, beeinflusst werden könnte, so würde ein solches einfaches Zahlenverhältniss offenbar höchst unwahrscheinlich sein.

Spielen Nerven und Ganglien nicht mit, so darf man weiter, wegen der nahezu maximalen Grösse der schon durch die einzelne Systole gesetzten Erregbarkeitsverminderung, vermuthen, dass die Dauer der auf die letzte einer Reihe von Extrasystolen folgende compensatorische Ruhe keineswegs mit der Zahl und dem Tempo der eingeschalteten Systolen wachsen, sondern im Allgemeinen nicht länger wie nach einer einzelnen Extrasystole sein wird. Nach der Ganglienhypothese würde auch dies nicht wohl so sein können.

In der That verhalten sich nun die Dinge durchaus unsern Erwartungen gemäss.

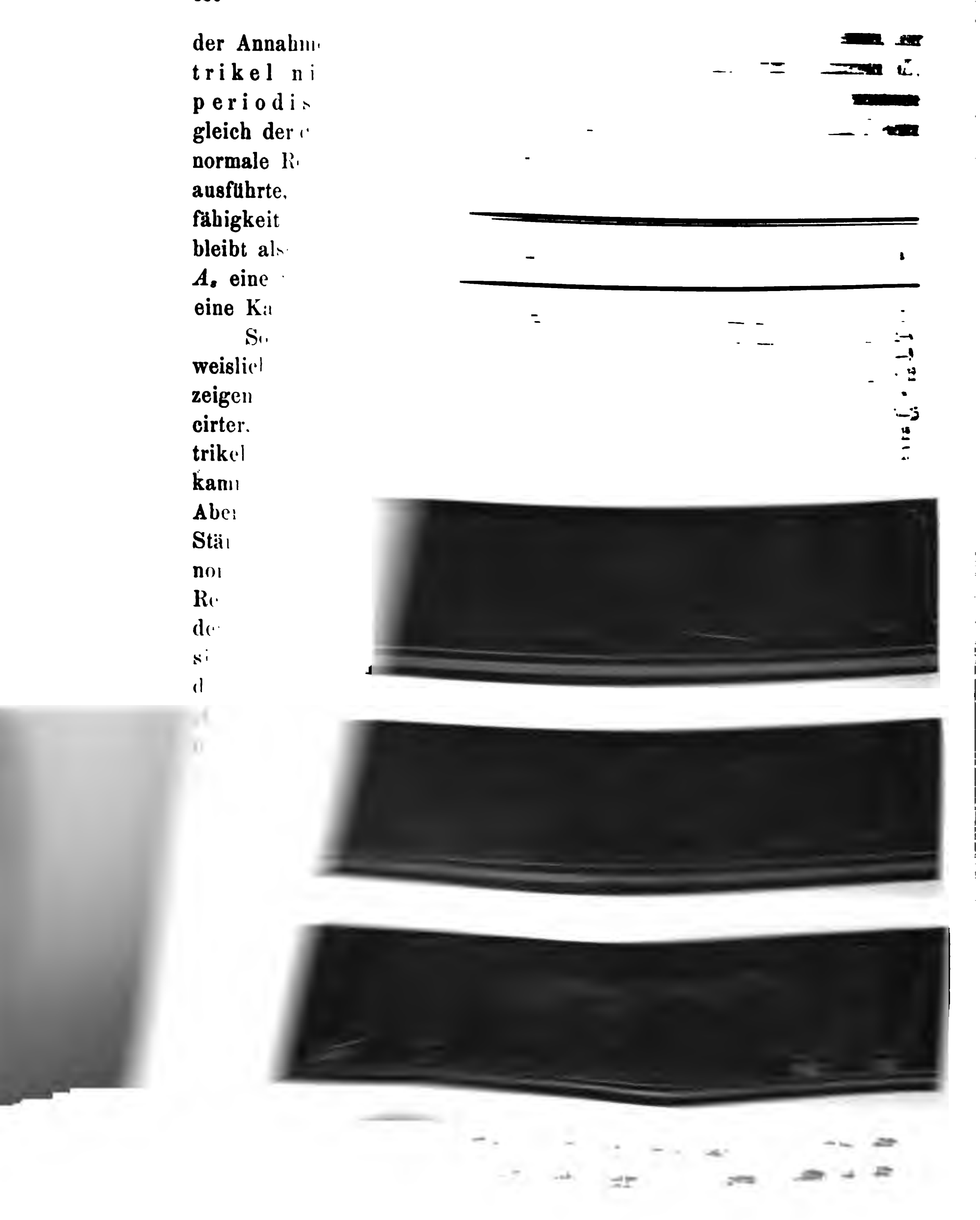
Ich theile zum Belege zwei Versuchsreihen mit, in deren einer (Tab. IV) die Extrasystolen durch Einzelreize, in deren anderer (Tab. V) sie durch Tetanisiren der Kammerspitze hervorgerufen wurden. In beiden Reihen pulsirte der in situ belassene, in unversehrtem Zusammenhang mit dem übrigen Herzen stehende Ventrikel spontan und mit gewohnter Regelmässigkeit. Um etwaige Reflexe von der Kammer auf das Herz durch Vermittlung von Gehirn oder Rückenmark auszuschliessen, waren letztere zuvor mit einer vom Hinterhaupt her eingeführten Nadel zerstört worden.

In Tab. IV und V sind die allgemeinen Resultate übersichtlich zusammengestellt.

Da die Einzelversuche nur ganz unbedeutende Abweichungen von den Mittelwerthen aufweisen, darf ihre Mittheilung in extenso unterbleiben.

Es wurden jedesmal gemessen die Dauer T_1 und T_2 der zwei, der Reizung vorausgehenden, noch vollständig ungestört ablaufenden Ventrikelperioden, dann die Summe von der dritten (durch die

der Annahm
trikel ni
periodis
gleich der
normale R
ausführte.
fähigkeit
bleibt als
A, eine
eine Ka
S
weislich
zeigen
cirter.
trikel
kann
Aber
Stä
no
Re
de
si
d



Resultat hat, sondern nur die **D a u e r** der Reihe. Mit andern Worten: das Ergebniss ist dasselbe ob statt der normalen V_s während einer bestimmten Zeit n, oder $2n$ oder $3n$ u. s. f. Extrasystolen hervorgerufen wurden. Der Moment, in welchem die erste spontane V_s wieder einsetzt, ist in jedem Falle um ein ganzes Vielfaches von der Dauer der normalen Periode von dem Anfang der letztvorhergehenden spontanen V_s entfernt. Man vergleiche hierzu noch die 3 Figg. 11, 12, 13, aus denen zugleich ersichtlich, dass auf die letzte einer längeren Reihe von Extrasystolen keineswegs eine längere „compensatorische" Ruhe folgt, als nach einer einzelnen Extracontraction.

In fast allen Fällen blieb vielmehr die Dauer des Intervalls zwischen Beginn der letzten Extrasystole und dem Anfang der nächsten spontanen erheblich unterhalb des Werthes zweier normaler Perioden.

Die zweite Versuchsanordnung, wobei durch etwa 1" anhaltendes Tetanisiren der Kammer eine oder mehrere Extrasystolen hervorgerufen wurden, gab folgende Resultate. Die Buchstaben haben dieselbe Bedeutung wie in der vorigen Tabelle.

T a b e l l e V.

Mittel aus	T_1	T_2	$T_3 + xT_\varrho$	T_4	T_5	n
29 Versuchen	1,250"	1,252"	2,511=2×1,255"	1,240	1,224	1—2
40 „	1,210"	1,219"	3,603=3×1,201"	1,192	1,168	2—3
4 „	1,292"	1,310"	5,060=4×1,265"	1,280	1,240	3

Drei einzelne Versuche sind in Fig. 14, 15, 16 abgebildet. In Fig. 14 (1 Extrasystole) tritt die erste spontane Systole nach der doppelten, in Fig. 15 (2 Extrasystolen) nach der dreifachen, in Fig. 16 (3 Extrasystolen) nach vierfacher Zeitdauer einer spontanen Periode, vom Moment des Beginns der der Reizung zuletzt vorhergehenden normalen Systole an gerechnet, ein.

Uebereinstimmende Resultate ergaben alle anderen Einzelversuche. Ohne Ausnahme erwies sich die Dauer von $T_3 + nT_\varrho$ als ein einfaches Multiplum der normalen Periode.

Die hierin zu Tage tretende einfache Beziehung darf wohl als das **G e s e t z d e r E r h a l t u n g d e r p h y s i o l o g i s c h e n R e i z p e r i o d e** bezeichnet werden.

Bei näherer Prüfung von Tab. IV bemerkt man, dass dies Gesetz insofern nicht in aller Strenge zu gelten scheint, als durchschnittlich die Dauer der ersten und noch häufiger und in höherem Grade die der zweiten nach Ablauf der Reizung folgenden spon-

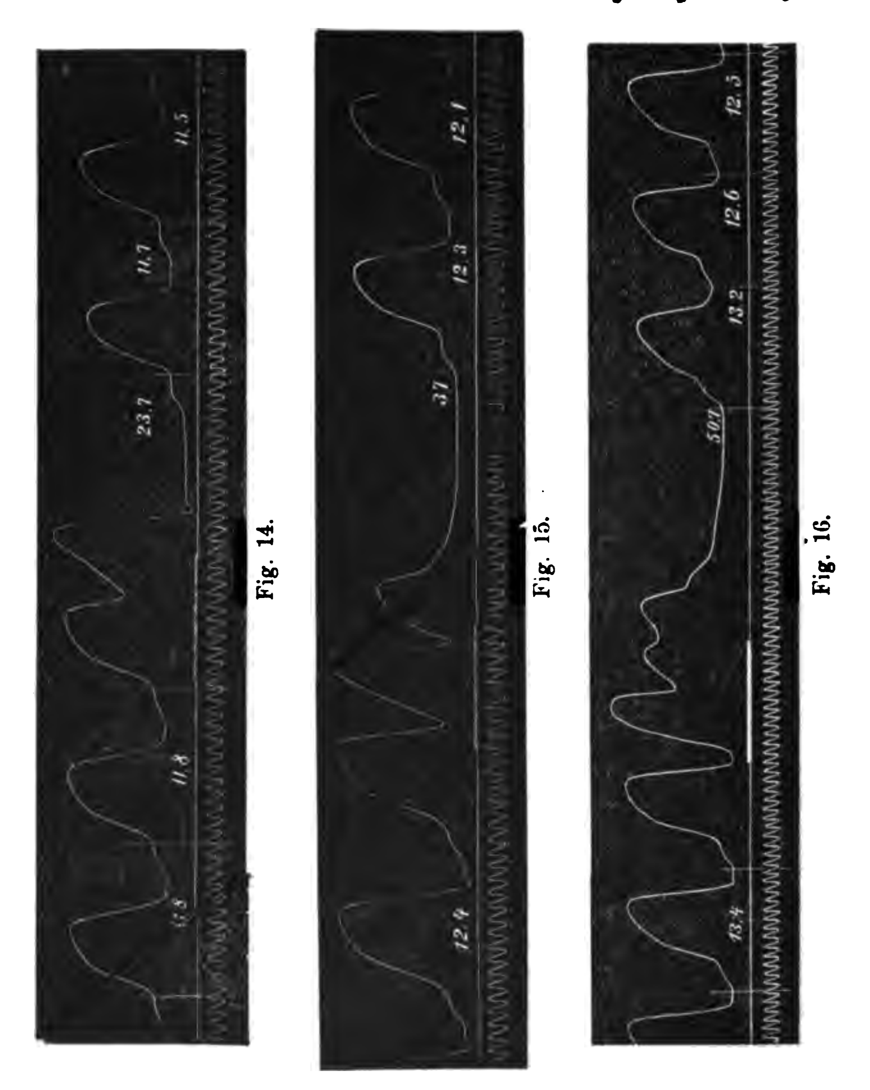


Fig. 14. Fig. 15. Fig. 16.

tanen Perioden etwas kleiner war als die der Perioden, welche der Reizung vorangingen oder ihr weiterhin folgen. Die Differenzen betrugen freilich im Durchschnitt aus allen meinen Versuchen kaum mehr als 1 % der Gesammtdauer der Periode. Da die Ab-

weichungen aber in überwiegender Zahl dasselbe Vorzeichen haben, können sie nicht wohl auf zufälligen Schwankungen der Periodendauer oder auf Fehlern der Messung beruhen. So war beispielsweise in den oben erwähnten Versuchsreihen vom 1. September T_4 in 47 von 73 Fällen, T_5 sogar in 58 Fällen kleiner als T_1 und T_2, und auch schon die mittlere Dauer der für die Zeit von (T_3+nT_s) berechneten spontanen Perioden war durchschnittlich ein wenig kürzer als die von T_1 und T_2.

Es liegt nahe, hier an Einmischung intracardialer Nervenreflexe zu denken, namentlich wenn man auf dem alten Standpunkt bezüglich der Function des eigenen Nervensystems des Herzens steht. Indessen scheinen, nach meinen bisherigen Versuchen intracardiale Nervenreflexe — wenigstens beim Frosch — nicht vorzukommen. Es bedarf ihrer aber auch zur Erklärung jener Thatsachen nicht, da verschiedene andere Momente dafür genügen.

Ein solches Moment ist zunächst die Störung der Circulation, welche die Extrasystolen des Ventrikels verursachen, indem sie zu Stauungen des Blutes in Vorhöfen, Sinus und grossen Venen Anlass geben. Hierdurch wird sehr wohl die Periode der von den Venenmündungen ausgehenden spontanen Herzreize etwas geändert werden können. Lehren doch alle Versuche, dass Schwankungen des intracardialen Blutdruckes auf die Pulsfrequenz Einfluss üben. Vielleicht dürfte man sich eher wundern, dass die in unsern Fällen beobachteten Abweichungen nicht grösser sind. Die Stauung des Blutes wird namentlich dann erheblich werden müssen, wenn die Extrasystolen des Ventrikels auch noch antiperistaltische Contraktionen der Vorkammern veranlassen. Dies ist in der That sehr leicht der Fall und unter anderem auch von Lauder Brunton und Cash schon gesehen worden und in unsern Curven an vielen Stellen deutlich zu sehen. Da das einfache Suspensionscardiogramm die Bewegungen vom A und V soweit sie zeitlich zusammenfallen in Superposition wiedergiebt, ist es rathsam A und V für sich zu registriren. Hierbei überzeugt man sich leicht — Figg. 17 und 18 (p. 337 und 338) illustriren dies an zwei Beispielen — wie eine durch direkte Reizung der V-Spitze eingeschaltete V_s antiperistaltisch eine A_s erregt, sobald A in der richtigen Phase vom Reiz erreicht wird, d. i. nach Ablauf der refractären Phase vom A. Folgen sich dann mehrere solcher künstlich erzeugter V_s in etwas kürze-

ren Intervallen als die spontanen A_s, so setzt sich das antiperistaltische Spiel fort, indem nun jeder neuen V_s eine neue A_s auf dem Fusse folgt.

Diese antiperistalischen Systolen von A werden ihrerseits wiederum Systolen des Sinus auslösen können, falls sie den Si in der richtigen Phase erreichen, und die Sinussystolen, solche der grossen Venenstämme, welche die Ausgangspunkte der normalen Herzreize sind.

In der direkten Beeinflussung dieser Ausgangsstätten durch ihre eigene antiperistaltisch hervorgerufene Contraktion, unabhängig von der damit verbundenen Störung des Blutstroms und des Blutdrucks, ist ein zweites Moment für Aenderung der spontanen Periodendauer gegeben. Und hierzu kommt als drittes noch folgender Umstand in Betracht. Ich habe früher gezeigt, wie die Leitungsgeschwindigkeit im Herzen, und im Besonderen die Reizübertragung von A nach V, von Thätigkeit, Ruhe, Blutdurchspülung und anderen Umständen in sehr messbarer Weise beeinflusst wird, wie sie beispielsweise durch eine schnellere Folge von Herzrevolutionen herabgedrückt, durch eine etwas längere Pause — wie in der compensatorischen Ruhe — erheblich beschleunigt wird. Auch ohne jede Aenderung des Tempo der spontanen Reizbildung an den Venenmündungen wird hierdurch der Moment des Einsetzens der ersten Kammersystole nach einer Reihe von Extracontractionen eine messbare Verschiebung erleiden können. Ob und in welchem Sinne die Verschiebung erfolgt, wird in jedem einzelnen Falle von der Zahl, Richtung und Stärke der hier angedeuteten wirksamen Einflusse abhängen. Da diese sich zum Theil entgegenwirken, wird das Resultat nicht immer merklich oder von gleichem Vorzeichen zu sein brauchen, wie dies in der That auch der Wirklichkeit entspricht.

In der Rückwirkung, welche eine durch direkte Reizung des V eingeschaltete V_s vermöge der antiperistaltischen Fortpflanzung der Erregung auf A, eventuell weiter auf den Sinus und die Venenmündungen ausübt, liegt nun, wie oben schon vorläufig bemerkt, in vielen Fällen der Ursprung der compensatorischen Ruhe des Ventrikels. Nur dann nämlich, wenn die Extrasystole des V nicht sofort auf eine spontane V_s, sondern erst zur Zeit folgte, wo bereits die nächste spontane Vorkammercontraktion begonnen hat oder doch schon im Stadium der latenten Energie sich be-

findet, rührt die compensatorische Ruhe des Ventrikels davon her, dass der von den Atrien kommende Reiz die Kammer noch unerregbar trifft. Im andern Falle hat sie ihren Ursprung darin, dass *V* von *A* aus überhaupt nicht gereizt wird, weil *A* selbst, infolge antiperistaltischer Erregung von *V* her, für den nächsten vom Sinus herkommenden Reiz noch nicht wieder empfänglich war, bezüglich auch der Sinus von den Venenmündungen aus nicht gereizt ward, da er noch in Folge der vorausgehenden antiperistaltischen Erregung refractär war. In diesen Fällen zeigen also auch die Vorkammern die Erscheinung der compensatorischen Ruhe, während sie im ersteren Falle in normaler Periode weiter schlagen und nur der Ventrikel die verlängerte Pause zeigt.

Ist diese Vorstellung richtig, so wird auch die compensatorische Ruhe der Vorkammern nach einer oder mehreren Extrasystolen antiperistaltischen Ursprungs stets in dem Augenblicke endigen müssen, wo auch sonst eine spontane Vorkammersystole eingesetzt haben würde und wird die Dauer der compensatorischen Ruhe die Dauer zweier normaler Perioden im Allgemeinen nicht überschreiten dürfen.

Dies ist denn auch wirklich der Fall, wie Tabelle VI und die in Fig. 17 und 18 abgebildeten Beispiele lehren. Die Versuche stellen ebensowenig, wie die für die compensatorische Ruhe des Ventrikels mitgetheilten, nur ausgesuchte Fälle dar, sondern die strenge Regel. Unter den angegebenen Bedingungen habe ich wenigstens keine Ausnahme gefunden.

Tab. VI.

Die Bezeichnungen sind dieselben wie in Tabelle V, nur beziehen sich die Zahlen auf Vorkammerperioden. Die Versuche sind nicht chronologisch, sondern nach der Dauer der Unterbrechung der normalen Vorkammercontraktionen durch die künstliche Reizung geordnet. In den letzten beiden Spalten ist die Zahl der während dieser Dauer eingeschalteten Vorkammercontraktionen (nA) und Kammersystolen (nV) verzeichnet. Sie ist sehr verschieden, da nicht nur die Zahl, sondern auch die Dauer der Intervalle der künstlichen Reize variirte. Das Herz befand sich in situ, die Cirkulation war erhalten. Der Ventrikel wurde nahe der Spitze mit einzelnen Oeffnungsinduktionsströmen gereizt, welche, sobald sie in die richtige Phase fielen, antiperistaltische Vorkammersystolen auslösten.

Zeitliche Folgenummer des Versuchs	T_1	T_2	(T_3+xT_ϱ)	T_4	T_5	nA	nV
8	1,72	1,71	7,00 = 4×1,75	1,78	1,72	4	6
11	1,79	1,80	7,35 = 4×1,84	1,82	1,80	3	4
17	1,84	1,88	7,46 = 4×1,87	1.90	1,88	6	6
6	1,55	1,54	7,80 = 5×1,56	1,56	1,56	4	5
7	1,68	1,65	8,27 = 5×1,65	1,64	1,63	4	5
12	1,85	1,80	9,24 = 5×1,85	1,85	1,86	4	5
13	1,85	1,86	9,18 = 5×1,84	1,84	1,84	4	6
15	1,86	1,85	9,25 = 5×1,85	1,90	1,87	3	4
1	1,44	1,44	8,65 = 6×1,44	1,46	1,45	6	8
2	1,46	1,46	8,95 = 6×1,49	1,47	1,46	6	8
10	1,81	1,82	10,84 = 6×1,81	1,82	1,81	7	8
5	1,50	1,49	10,30 = 7×1,47	1,40	1,44	7	8
3	1,50	1,49	10,40 = 7×1,49	1,50	1,49	7	9
16	1,88	1,84	13,06 = 7×1,88	1,85	1,86	6	9
4	1,49	1,50	11,95 = 8×1,49	1,50	1,48	7	8
14	1,85	1,83	16,65 = 9×1,85	1,86	1,87	6	8
9	1,79	1,80	18,04 = 10×1,80	1,82	1,80	10	13

Zur besseren Beurtheilung der Versuche sind zwei derselben in Fig. 17 und 18 abgebildet. Sie wurden, um das Format dieser Zeitschrift nicht zu überschreiten, bei dreimal geringerer Geschwindigkeit des Cylinders registrirt als die übrigen.

Die grossen systolischen Erhebungen sind von der Kammer, die kleinen von der Vorkammer gezeichnet. Darunter sind die Reizmomente mittels Pfeils Signal verzeichnet. Die Schliessungsschläge wurden vom Polyrheotom in der früher beschriebenen Weise[1]) abgeblendet: daher jedesmal ein doppeltes Zeichen des Signals, von dem nur das zweite dem Augenblick der Reizung entspricht. Unter dem Signal die Stimmgabelcurve in $^1/_{10}$''. Die Spitzen der Schreibhebel vom A und V standen genau vertikal übereinander, so dass das zeitliche Verhältniss der Systolen beider Herzabschnitte unmittelbar genau ersichtlich ist.

Man sieht wie vor Beginn der Reizung des V jeder spontanen V_s eine A_s vorausgeht und zwar so, dass V_s beginnt ganz kurz bevor A_s den Gipfel erreicht. Die ersten Reizungen lösen noch keine Extrasystolen von V_s aus, da sie in die refractäre Phase von V fallen. Erst die 5. (in Fig. 17) bez. die 4. (in Fig. 18) wirkt. Aber die A_s kommt hier noch zur normalen Zeit, wie auch

1) Das rhythmische Polyrheotom. Dies Archiv. Bd. 52. 1892. p. 621. — Das Princip der gemeinschaftlichen Strecke. Ebenda p. 598.

die nächstfolgende. Von der 7. bez. 6. Reizung an bis zur letzten folgt dann jeder Extra-V_s eine durch antiperistaltische Leitung erregte A_s und dieser dann die compensatorische Ruhe, welche für A selbstverständlich kürzer ist als für V, und die Dauer von 2 normalen Perioden nicht erreicht, für V nur in

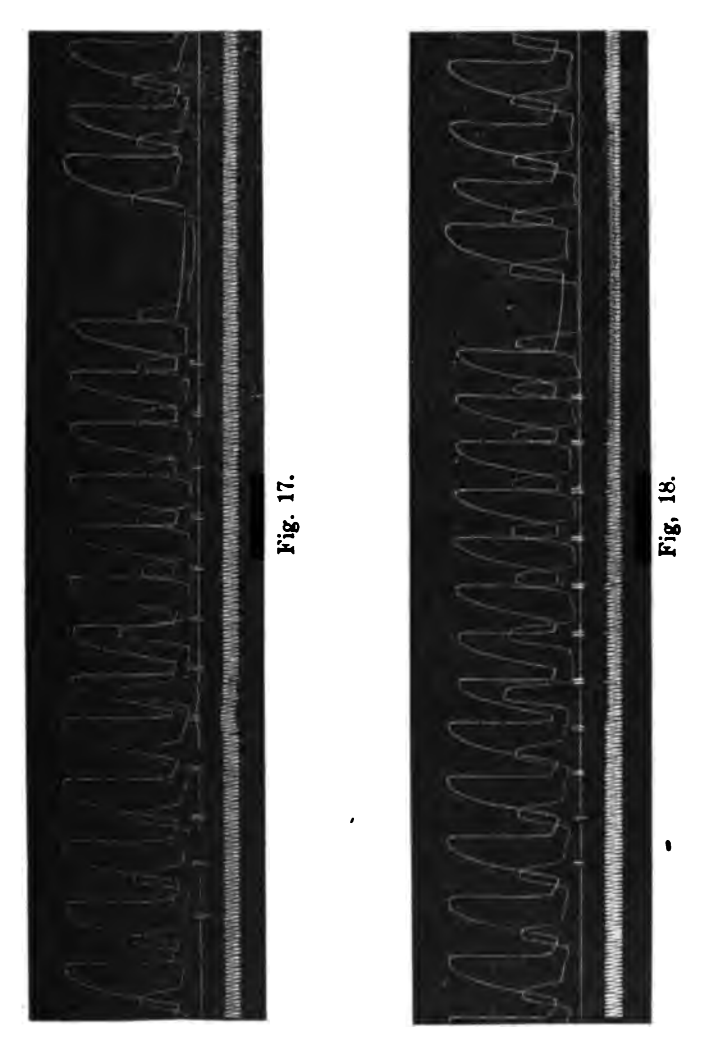


Fig. 17.

Fig. 18.

Fig. 17 die Dauer von 2 Perioden etwas übertrifft. Letzteres Verhalten der compensatorischen Ruhe vom V ist nur möglich bei antiperistaltischer Erzeugung von Extrasystolen der Vorkammer. Bei peristaltischer Erregung der Vorkammern kann die com-

pensatorische Ruhe des V die Dauer von 2 Perioden nicht überschreiten. Hiermit ist ein wichtiges diagnostisches Hilfsmittel zur Beurtheilung des Ursprungs der compensatorischen Ruhe des V gegeben in solchen Fällen, wo das gleichzeitige Verhalten des A der Beobachtung nicht zugänglich gemacht ist.

Weniger regelmässig pflegen die Resultate zu sein, wenn die Vorkammern nicht vom Ventrikel aus, sondern durch direkte elektrische Reizung zu Extrasystolen veranlasst werden. Denn hierbei mischt sich mitunter eine Erregung des Sinus und der Vagusfasern ein. Je nachdem die erregenden oder die hemmenden Elemente stärker affizirt wurden, endigt die compensatorische Ruhe dann früher oder später als nach dem Satze von der Erhaltung der physiologischen Reizperiode zu erwarten wäre. Auch ist dann oft die Dauer der ersten auf die compensatorische Ruhe folgenden spontanen Perioden noch etwas verkürzt oder verlängert. Sind aber die künstlichen Reize schwach und liegen die Reizstellen möglichst weit vom Sinus und sehr nahe bei einander, so offenbaren sich auch hier dieselben streng gesetzmässigen einfachen Beziehungen wie bei der physiologischen Reizung der Vorkammer auf antiperistaltischem Wege.

Belege für die letztere Behauptung liefern die in Tab. VII zusammengestellten 10 Versuche, in denen die ausgeschnittene, spontan klopfende Vorkammer in möglichst weiter Entfernung vom Sinus mit mässig starken Oeffnungsinduktionsschlägen direkt gereizt ward.

Tabelle VII.

T_1	T_2	(T_3+xT_ϱ)	T_4	T_5	x
1,60	1,67	3,26=2×1,63	1,64	1,62	1
2,05	2,07	4,12=2×2,06	2,04	2,01	1
2,12	2,13	4,30=2×2,15	2,10	2,13	1
2,60	2,60	5,17=2×2,585	2,58	2,56	1
2,70	2,67	5,44=2×2,72	2,68	2,68	1
1,50	1,60	4,65=3×1,55	1,53	1,57	2
1,62	1,59	5,00=3×1,67	1,67	1,66	5
1,64	1,60	5,01=3×1,67	1,62	1,60	4
2,46	2,50	7,60=3×2,53	2,59	2,60	2
1,67	1,66	6,40=4×1,60	1,60	1,72	5

Eine merkliche Einmischung der Erregung pulsverlangsamender Elemente zeigt sich dagegen bei Vorkammer-Reizung in den Ver-

suchen der nächsten Tabelle, die dem gleichen Herzen wie die vorigen entstammen.

Tabelle VIII.

T_1	T_2	(T_3+nT)	T_4	T_5	n
1,58	1,54	4,00=2×2,00	1,62	1,60	2
1,62	1,67	3,83=2×1,91	1,76	1,80	2
1,77	1,71	4,20=2×2,10	1,86	1,89	2
2,70	2,64	5,50=2×2,75	2,73	2,70	1
2,70	2,70	5,60=2×2,80	2,78	2,70	1
1,62	1,60	5,50=3×1,83	1,74	1,60	4
1,67	1,66	5,65=3×1,88	1,66	1,70	3
1,68	1,69	5,64=3×1,88	1,68	1,72	3
1,80	1,78	5,83=3×1,94	1,85	1,82	3
2,50	2,52	7,92=3×2,64	2,70	2,60	2
1,62	1,60	6,74=4×1,68	1,80	1,75	5

Eine Mitreizung beschleunigender Elemente, meist mit nachträglich sich bemerkbar machender Einmischung hemmender Einflüsse, spricht mit grösserer oder geringerer Deutlichkeit aus den Versuchen von Tab. IX. Auch hier wurde die Vorkammer direct electrisch gereizt.

Tabelle IX.

T_1	T_2	(T_3+n_0T)	T_4	T_5	n
1,60	1,68	4,53=3×1,51	1,67	1,65	2
1,68	1,68	4,70=3×1,57	1,68	1,64	2
1,77	1,75	5,04=3×1,68	1,83	1,80	3
1,80	1,80	4,90=3×1,63	1,63	1,63	2
2,68	2,65	7,36=3×2,45	2,70	2,70	1
2,70	2,64	7,10=3×2,37	2,70	2,70	2
1,68	1,64	5,70=4×1,425	1,75	1,70	3
1,73	1,67	6,20=4×1,54	1,67	1,70	3
1,86	1,89	5,94=4×1,485	1,76	1,76	3
2,60	2,60	10,20=4×2,55	2,77	2,70	2
2,68	2,70	10,28=4×2,57	2,79	2,92	2
2,70	2,70	10,50=4×2,625	2,80	2,76	2
1,63	1,62	7,90=5×1,58	1,70	1,65	5
1,61	1,61	9,40=6×1,57	1,65	1,64	8

Reizt man an dem in situ befindlichen normal klopfenden Herzen ausschliesslich den Sinus direkt durch einen einzelnen Induktionsschlag, so beobachtet man sehr regelmässig eine compensatorische Ruhe von A und V und zwar auch ohne

dass diese beiden vorher eine Extrasystole ausgeführt haben. Die Erklärung ist im Princip dieselbe wie für die compensatorische Ruhe des Ventrikels nach Einschaltung einer Extrasystole der Vorkammern: der eingeschaltete, von oben — hier vom Sinus her — kommende Reiz findet die Erregbarkeit des folgenden Herzabschnittes — hier der Vorkammern —, bezüglich das Leitungsvermögen der verbindenden Blockfasern noch nicht wieder weit genug hergestellt um sichtbaren Erfolg zu haben. Die Vorkammern pausiren also bis der nächste spontane Reiz vom Sinus her kommt, und da V sich nicht zusammenzieht, wenn A nicht zuvor in Erregung kam, pausirt auch die Kammer bis die Vorkammern ihre Thätigkeit wieder aufnehmen.

Da bei den bisher üblichen Verfahren entweder nur V, oder doch nur A und V ihre Bewegungen aufschreiben, die Bewegungen des Sinus aber der Beobachtung entgehen, erhält man somit die compensatorische Herzruhe in Folge scheinbar wirkungsloser Reize In Wirklichkeit führten aber die oberhalb der Atrien nach den



Fig. 19.

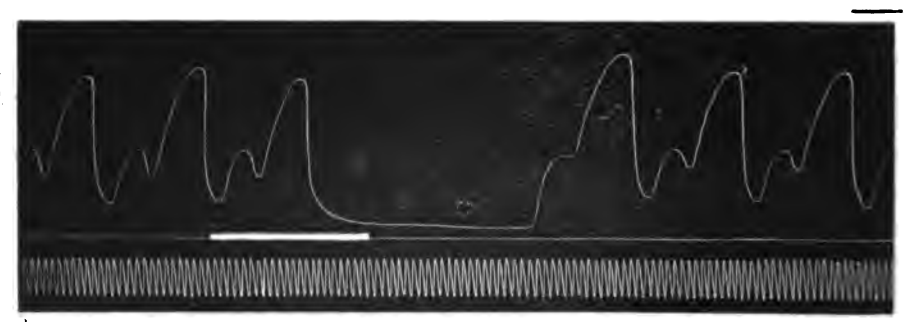


Fig. 20.

Venenmündungen zu liegenden Muskelwände eine Extrasystole aus.

Bei Anwendung des einfachen Kammersupensionsverfahren bekommt man dann Bilder wie Fig. 19 und 20.

Hier wurde der Sinus mittels zweier seitlich angelegter Lungenelectroden mit schwachen, abwechselnd gerichteten Inductionsströmen kurz tetanisirt. Der Erfolg der Reizung verräth sich im Cardiogramm nur in der „compensatorischen Ruhe“ von *A* und *V*, nicht durch eine Extrasystole. Die Inspection zeigte jedoch, dass der Sinus eine solche ausführte.

In Uebereinstimmung mit unserer Erklärung ergiebt sich auch

Tabelle X.

T_1	T_2	T_ϱ	T_4	T_5
14,8	15,0	16,1	15,2	15,0
15,0	15,2	16,4	15,2	15,0
14,5	14,8	31,2=2×15,6	17,0	15,8
14,6	14,0	29,4=2×14,7	16,3	14,7
14,7	15,2	29,2=2×14,6	16,3	15,7
14,8	15,0	29,0=2×14,5	16,0	15,0
14,9	14,9	29,7=2×14,8	16,2	15,0
15,0	15,0	26,7=2×13,3	15,7	15,2
15,0	15,0	28,8=2×14,4	16,5	15,5
15,0	15,0	30,0=2×15,0	16,0	15,0
15,0	15,0	28,3=2×14,2	15,8	15,2
15,0	15,1	31,0=2×15,5	16,9	15,3
15,0	14,9	31,0=2×15,5	16,2	15,0
15,0	15,0	29,5=2×14,8	16,7	15,0
15,0	15,0	30,1=2×15,1	16,0	15,0
15,2	15,2	29,2=2×14,6	16,0	15,0
15,2	15,0	29,0=2×14,5	16,0	15,3
15,2	15,2	30,6=2×15,3	16,0	16,0
15,2	15,0	30,0=2×15,0	17,0	15,4
15,4	15,6	31,6=2×15,8	17,0	16,1
15,4	15,4	30,0=2×15,0	16,0	15,0
15,5	15,5	32,2=2×16,1	16,9	16,0
15,5	14,6	29,3=2×14,7	16,0	15,0
15,6	16,0	31,0=2×15,5	16,1	15,4
16,0	15,7	30,0=2×15,0	16,3	15,7
16,0	15,8	31,9=2×15,8	17,3	15,8
14,2	14,7	44,4=3×14,8	16,3	15,2
14,6	14,8	44,3=3×14,8	16,5	15,0
15,0	14,8	45,6=3×15,2	16,8	15,1
15,0	15,0	45,0=3×15,0	16,0	14,8
15,0	15,0	43,0=3×14,3	15,8	15,4
15,0	14,8	44,4=3×14,8	16,0	15,5
15,1	15,2	46,0=3×15,3	16,2	15,2
15,2	15,6	46,0=3×15,3	17,0	15,2
15,4	15,8	48,8=3×16,3	17,5	16,1
15,6	15,3	48,0=3×16,0	17,0	16,6
15,0	15,0	61,6=4×15,4	17,6	15,9
15,2	15,1	62,0=4×15,5	17,4	16,1

hier wiederum die Dauer des Intervalls zwischen Beginn der letzten spontanen A_s und dem Ende der compensatorischen Ruhe von A gleich einem einfachen Multiplum der normalen Periode. In Fig. 19 beträgt diese Dauer das zwei-, und in Fig. 20 das dreifache einer Periode.

In der vorhergehenden Tabelle X sind noch eine Anzahl ähnlicher Fälle, alle vom gleichen Herzen stammend, mitgetheilt, die noch in anderer Hinsicht lehrreich sind. Die Zeiten sind in Zehntelsekunden (1 Stimmgabelschwingung = 0 1″) angegeben. Mit T_ϱ sind die Perioden bezeichnet, in welche die Reizung fiel.

In den vorstehenden Versuchsbeispielen, deren Zahl ich leicht vervielfältigen könne, ist constant die Dauer der auf die compensatorische Ruhe folgenden Perioden merklich verlängert, in beträchtlicherem Grade als bei direkter Reizung von A der Fall zu sein pflegt. Schon in der Dauer von T_ϱ macht sich nicht selten die Verzögerung bereits etwas bemerkbar. Doch kommt auch das entgegengesetzte Verhalten vor. Alles dies scheint sich ungezwungen zu erklären aus der bei elektrischer Reizung des Sinus nothwendigerweise leichter erfolgenden Einmischung einer Reizung von Vagusfasern einerseits, andererseits der automatischen Herde an den grossen Venenmündungen.

Fiel die Extrareizung des Sinus in die Zeit der Systole des Sinus, so fehlte, selbst bei Verwendung grösserer Stromstärken, nicht selten überhaupt jeder merkliche Erfolg, also auch die compensatorische Ruhe. Am ehesten zeigte sich noch eine geringe Verlängerung der nächsten Pause. Fig. 21 giebt hiervon ein Beispiel. Es stammt vom selben Herzen wie Fig. 19 und 20.

Die kurze tetanische Reizung des Sinus fällt hier in die Zeit kurz vor und in den Anfang des A_s, also wesentlich in die Zeit der Sinuscontraction. Der einzige merkliche Erfolg besteht in einer unbedeutenden Verlängerung der nächsten Pause. Während derselben senkt sich die Schreibhebelspitze etwas tiefer als sonst, da das Herz etwas mehr erschlafft und sich mehr mit Blut füllt. Aus letzterem Grunde ist dann die nächstfolgende V_s etwas vergrössert.

Stärkere Einmischung der Reizung pulsverzögernder Vagusfasern kommt bei direkter elektrischer Erregung des Sinus gelegentlich auch zur Beobachtung. Sie macht sich, ähnlich wie der Erfolg der Reizung des Vagusstammes, selbst bei sehr kurz dauernder,

fast momentaner, Einwirkung der Reize noch auf eine Reihe von Perioden hinaus bemerklich und erreicht namentlich häufig in der zweiten Periode ihr Maximum. Ein Beispiel hiervon giebt Fig. 22.

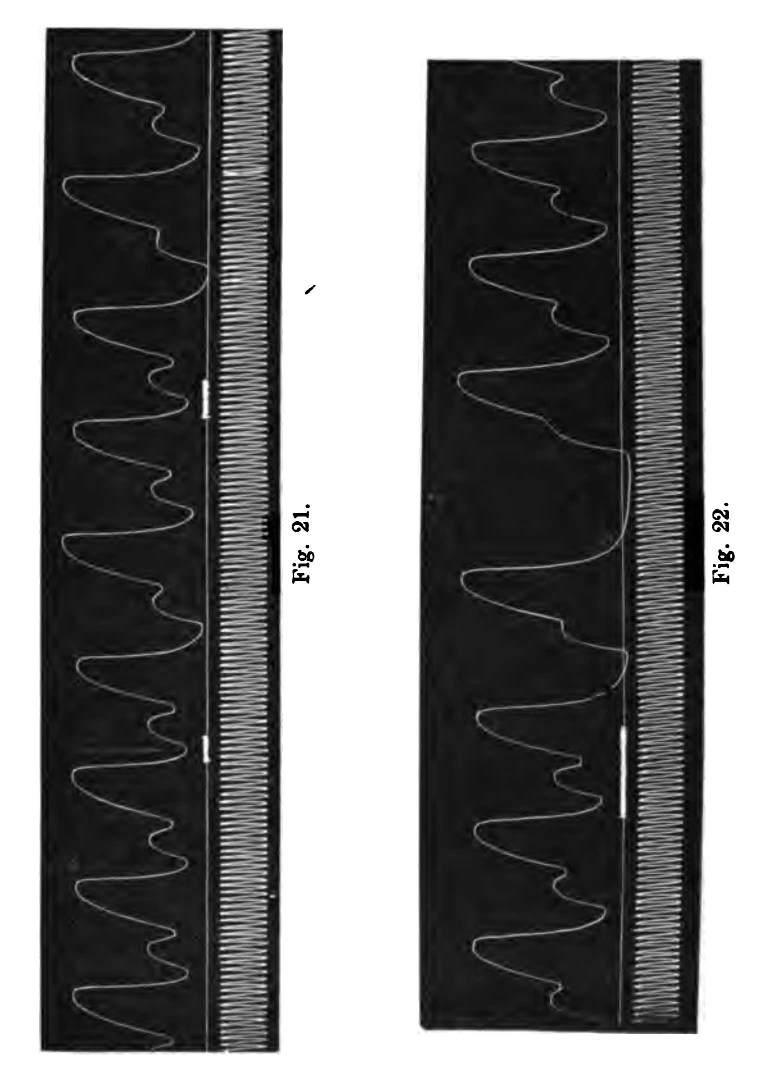


Fig. 21.

Fig. 22.

Man bemerke hier auch den früher [1]) ausführlicher von uns behandelten verkürzenden Einfluss, den die Verlängerung der Pause

---

1) Dies Archiv 56. Bd. 1894. p. 170 u. flg.

auf das Intervall $A_s - V_s$ ausübt und beachte, dass die Grösse der Vorkammercontraktionen nicht beeinflusst ist.

Letzteres ist dagegen, ohne gleichzeitige Pulsverlangsamung, in anderen Versuchen gelegentlich der Fall, wie Fig. 23 zeigt.

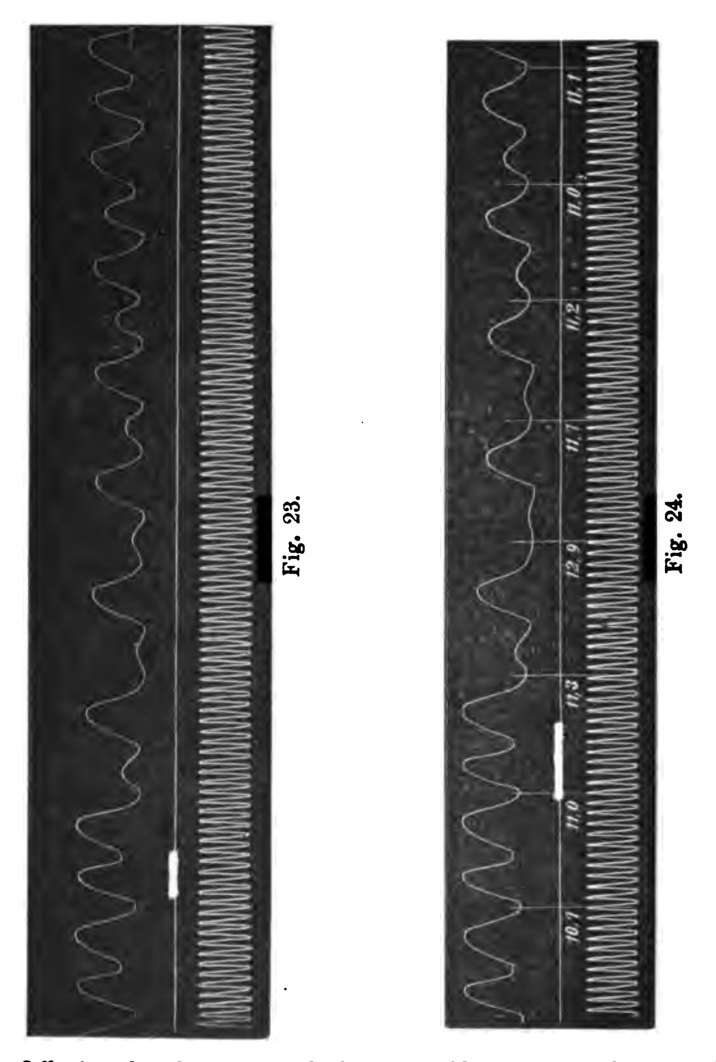


Fig. 23. Fig. 24.

Offenbar handelt es sich hier um Miterregung der aus dem Vagus stammenden muskellähmenden Fasern. Die Schwächung der Vorkammersystolen erreicht in der zweiten Periode nach der Reizung ihr Maximum und verliert sich so langsam, dass noch die

letzte der abgebildeten A_s, die siebente nach der Reizung, noch nicht die ursprüngliche Höhe wieder erreicht hat. Der Verlauf ist ganz ähnlich wie bei direkter oder reflektorischer Erregung des Herz-Vagus, z. B. vom Darm aus[1]. Die Kammersystolen sind nach der Reizung kleiner und also scheinbar auch geschwächt; doch war dies wohl nur die Folge der wegen der Schwächung der Vorkammercontraktionen geringeren Füllung der Kammer mit Blut.

Meist combinirt sich, wie bei der Reizung des Vagusstammes, mit der schwächenden Wirkung auf die Vorkammercontraktionen auch die Verlängerung der Perioden, wovon in Fig. 24 noch ein Beispiel mitgetheilt sei.

Hier ist die schwächende Wirkung die relativ stärkere. Diese Versuche, besonders solche, wie Fig. 22 und 23, illustriren somit beiläufig die wichtige von Nuel[2] zuerst hervorgehobene Thatsache, dass Schwächung des Contraktionsvermögens und Verlängerung der Perioden, d. i. Pulsverlangsamung, gänzlich von einander unabhängige Prozesse sind, also ohne Zweifel Wirkungen des Vagus auf verschiedene Elemente des Herzens ihren Ursprung danken, die Schwächung der Contraktionen, wie ich glaube, einer direkten Einwirkung auf die Muskelfasern der Vorkammern, die Pulsverzögerung einer Einwirkung auf die Herde der automatisch-rhythmischen Erregung an den Venenmündungen des Herzens.

Zusammenfassung der Ergebnisse.

Durch die vorstehenden Versuche über das refractäre Stadium und die compensatorische Ruhe ist, wie ich glaube, der strenge Beweis geliefert, dass der normale Herzrhythmus begründet ist einmal in der Eigenthümlichkeit der Herzmuskelsubstanz, dass sie durch einen wirksamen Reiz vorübergehend der Erregbarkeit beraubt wird (refractäre Phase), und zweitens in dem Umstand, dass die normale, von den venösen Ostien herkommende Erregung nicht eine continuirliche, sondern eine periodische, den Herzpulsationen isorhythmische ist.

---

1) Vgl. dies Archiv 56. Bd. Taf. X. Fig. 11 u. 12. p. 197.

2) Nuel, Over den invloed van vagusprikkeling er. Onderzoek. physiol. labor. Utrecht. Derde Reeks. II. 1893. p. 304 flg.

Der erste Umstand in Verband mit der Thatsache, dass der physiologische spontane Reiz als ein relativ schwacher Reiz zu betrachten ist, der zudem nicht die ganze Muskulatur jedes Herzabschnitts auf allen oder auch nur vielen Punkten gleichzeitig angreift, sondern immer nur an verhältnissmässig wenigen Stellen, von denen aus er sich durch Muskelleitung weiter verbreiten muss, bedingt es, dass jede Herzabtheilung überhaupt nur rhythmisch thätig sein kann, wenn sie auf physiologischem Wege gereizt wird.

Die Störungen der normalen Periodicität und des normalen Rhythmus durch eingeschaltete künstliche Herzreize, wie sie u. a. in der Erscheinung der compensatorischen Ruhe so auffällig zu Tage tritt, erklären sich aus denselben Umständen in Verband mit der Annahme einer nicht continuirlichen, sondern periodischen, den Herzschlägen isorhythmischen Erzeugung der spontanen Herzreize.

Wenn unsere Versuche für die letztere Annahme neue Experimentalbeweise beigebracht haben, so soll damit keineswegs gesagt sein, dass die bereits bekannten Thatsachen nicht schon für diese Annahme genügten. Wie mir scheint, wird sie schon unabweisbar angesichts der uralten Erfahrung, dass beim Absterben des Herzens die Pulsfrequenz der Kammer zu der der Vorkammern im Verhältniss einfacher ganzer Zahlen bleibt: beide klopfen zu Anfang isorhythmisch weiter, später kommt nur auf nA_s eine V_s, wo n immer eine ganze Zahl bedeutet. Bei den vielfachen histiologischen und physiologischen Unterschieden, welche Vorkammern und Ventrikel aufweisen, scheint mir die Thatsache dieses einfachen Zahlenverhältnisses auf dem Standpunkt der Annahme einer continuirlichen Erzeugung der motorischen Herzreize zu der Absurdität einer prästabilirten Harmonie zwischen A und V zu führen. Wer aber auch hierin etwa anderer Meinung sein sollte, der sei an den, in seiner Einfachheit klassischen Versuch W. N. Gaskells[1]) erinnert, welcher zeigte, dass beim spontan klopfenden Herzen Erwärmung ausschliesslich des Ventrikels die Frequenz der Kammerpulse nicht erhöht! Nur Erwärmung jener an den venösen Ostien des Herzens gelegenen Theile, in welchen die normalen Reize ent-

1) W. N. Gaskell, On the rhythm of the heart of the frog etc. Philos. Transact. of the Royal Society. Vol. CLXXIII. (Read 22. Dec. 1881). p. 995.

stehen, hat Beschleunigung der Pulse zur Folge. Dastre konnte von diesem Gaskell'schen Versuche schwerlich schon Kenntniss haben, als er in der compensatorischen Ruhe eine dem intracardialen Nervensystem zuzuschreibende Erscheinung nachweisen zu können glaubte. Kaiser aber scheint ihn übersehen zu haben, da er sonst an der Vorstellung einer continuirlichen physiologischen Erregung des Ventrikels unmöglich hätte festhalten können.

Unsere hier begründete Auffassung vom Ursprung des Herzrhythmus, obschon durch Versuche ausschliesslich am Froschherzen gewonnen, darf ohne Zweifel auf die Herzen aller Wirbelthiere übertragen werden. Denn es handelt sich um ein ganz allgemeines, schon in den elementarsten Eigenschaften der Herzmuskelsubstanz begründetes Prinzip. Die prinzipielle Uebereinstimmung dieser Eigenschaften ist auf so vielen Punkten und bei so verschiedenen Vertretern aller Wirbelthierklassen durch die neueren Forschungen dargethan, dass jener Schluss durchaus gerechtfertigt ist. Ich habe desshalb geglaubt, von eigenen Versuchen an Herzen anderer, speciell warmblütiger Thiere einstweilen Abstand nehmen zu dürfen.

Ein Umstand könnte noch Bedenken erregen: unsere Auffassung giebt keine Rechenschaft von der Bedeutung der intracardialen Nerven und Ganglien. Ohne diese ist natürlich an eine vollständige Theorie der Herzthätigkeit nicht zu denken. Man wird hierin aber keinen Vorwurf für uns erblicken dürfen, da wir ja nicht mehr als eine Erklärung der auf die Rhythmicität bezüglichen Erscheinungen zu geben beabsichtigten und eine Nothwendigkeit, das intracardiale Herznervensystem mit diesen Erscheinungen in ursächlichen Zusammenhang zu bringen, nicht besteht, so lange noch die Möglichkeit vorhanden ist, für dies Nervensystem andere Funktionen nachzuweisen. Welches diese Funktionen sind, soll in einer folgenden Mittheilung untersucht werden.

Weitere Beiträge zur Lehre von der Transsudation und zur Theorie der Lymphbildung.

Von

Dr. med. **Wilhelm Cohnstein,**
Assistent am physiolog. Laboratorium der kgl. thierärztlichen Hochschule
zu Berlin.

In einer früheren Arbeit[1]) habe ich über Versuche berichtet, welche in der Weise angestellt waren, dass eine in einer Flüssigkeit aufgehängte häutige Röhre von einer unter Druck stehenden differenten Flüssigkeit durchströmt wurde. Ich bezeichne diesen physikalischen Vorgang als Transsudation und diejenige Flüssigkeit, welche von dem Inneren der Membran durch letztere hindurch in die Aussenflüssigkeit übertritt, als Transsudat. Es gilt dann, wie ich experimentell gezeigt habe, unter der Voraussetzung, dass als Innenflüssigkeit die wässrige Lösung einer crystalloiden Substanz, als Aussenflüssigkeit Wasser dient, folgendes Gesetz:

Die Concentration des Transsudats steigt an mit dem Druck, unter welchem die Aussenflüssigkeit steht.

Zur physikalischen Deutung dieses Vorgangs zerlege ich den Prozess in seine beiden Componenten: ein Theil der transsudirenden Flüssigkeit wird nämlich durch Filtration nach aussen gepresst, ein zweiter tritt in Folge eines endosmotischen Spannungsausgleichs von aussen nach innen.

Führe ich allgemeine Zahlen ein, so gilt also folgendes: Es wandern

---

1) S. Verhandlg. d. Physiol. Gesellsch. zu Berlin Sitzg. vom 27. 10. 1893. — Virchow's Arch. Bd. 135 pg. 514. 1894.

	Aus der Durchströmungsflüssigkeit in die Aussenflüssigkeit:		Aus der Aussenflüssigkeit in die Durchströmungsflüssigkeit durch Diffusion
	durch Filtration	durch Diffusion	
Bei niedrigem Aussendruck	a ccm Flüssigkeit mit b gr fester Substanz	c gr fester Substanz	d ccm Wasser
Bei hohem Aussendruck	$\frac{a}{n}$ ccm Flüssigkeit mit $\frac{b}{n}$ gr fester Substanz	c gr fester Substanz	d ccm Wasser

Berechne ich hieraus die Concentration der beiden Transsudate, so ergiebt sich, dass

1. bei niedrigem Aussendruck: $a-d$ ccm Wasser von innen nach aussen gewandert und durch diese $b+c$ gr fester Substanz befördert worden sind. Die Concentration beträgt also:

$$\frac{b+c}{a-d}\cdot 100.$$

2. bei hohem Aussendruck $\frac{a}{n}-d$ ccm Wasser von innen nach aussen gewandert und durch diese $\frac{b}{n}+c$ gr fester Substanz befördert worden sind. Die Concentration beträgt also:

$$\frac{\frac{b}{n}+c}{\frac{a}{n}-d}\,100=\frac{b+nc}{a-nd}\,100.$$

Berücksichtigt man nun, dass n jedenfalls >1, so zeigt sich, dass

$$\frac{b+nc}{a-nd}\,100>\frac{b+c}{a-d}$$

Hiermit wäre das experimentell gefundene Gesetz theoretisch erklärt, wenn die von mir gemachte Voraussetzung richtig ist, dass bei der Filtration der wässrigen Lösung einer crystalloiden Substanz die Concentration des Filtrats unabhängig ist von dem Druck, gegen welchen filtrirt wird. Mit andern Worten, wenn es richtig ist, dass, wenn gegen einen niedrigen Aussendruck a ccm Flüssig-

keit mit b gr fester Substanz filtrieren, die gegen hohen Aussendruck filtrirenden $\frac{a}{n}$ ccm Wasser auch $\frac{b}{n}$ gr fester Substanz transportiren. — Aehnlich wie wir bei der Filtration von Lösungen colloider Substanzen eine gewisse Abhängigkeit der Concentration vom Filtrationsdruck kennen, war auch die Möglichkeit zu erwägen, ob bei crystalloiden Substanzen sich die Concentration mit steigendem Gegendruck ändere.

Um diese Frage experimentell zur Entscheidung zu bringen, war es nöthig, als Aussenflüssigkeit eine Substanz zu wählen, welche mit der Innenflüssigkeit keinerlei endosmotischen Verkehr eingeht. Als solche wählte ich das Paraffinöl.

Die im folgenden mitzutheilenden Versuche sind also in der Art der Ausführung den in meiner früheren Arbeit mitgetheilten durchaus analog, nur mit dem Unterschied, dass als Innenflüssigkeit die wässrige Lösung einer crystalloiden Substanz, als Aussenflüssigkeit Paraffinöl angewendet wurde. Das Filtrat sammelte sich unter dem spezifisch leichteren Paraffinöl an, wurde abgelassen und analysirt.

Versuch I.

Filtrationsflüssigkeit: 9,68% Kochsalzlösung. Filtrationsdruck: 125 cm. Membran: Pferde-Ureter. Zeit jedesmal 30 Minuten.

Aussendruck.	Concentration d. Filtrats.
0 cm	9,68%
16 „	9,67 „
84 „	9,68 „

Versuch II.

Filtrationsflüssigkeit: Kochsalzlösung von 9,72%. Filtrationsdruck 125 cm. Membran: Pferde-Ureter. Zeit: je 60 Minuten.

Aussendruck.	Concentration d. Filtrats.
16 cm	9,69%
104 „	9,73 „
16 „	9,71 „

Versuch III.

Filtrationsflüssigkeit: 5,32% Lösung von schwefelsaurem Magnesium. — Filtrationsdruck: 125 cm. Membran: Pferde-Ureter. — Zeit: je 60 Minuten.

Aussendruck.	Concentration d. Filtrats.
16 cm	5,28%
104 „	5,30 „
16 „	5,29 „

Diese Versuche zeigen, dass die oben gemachte Voraussetzung allerdings zu Recht besteht und dass bei der Filtration einer wässrigen Lösung crystalloider Substanzen **die Concentration des Filtrats unabhängig ist von dem Druck, gegen welchen filtrirt wird.**

So halte ich denn durch diesen nachträglichen Zusatz meine physikalische Deutung der mitgetheilten Versuche für bewiesen und theile zunächst im Folgenden einige Versuche über **Transsudation von Gemischen** mit. War meine Annahme die richtige, so musste hier die Concentration des Transsudats in einem Abhängigkeitsverhältnisse vom endosmotischen Aequivalent der angewendeten Körper stehen in dem Sinne, dass die leichter diffundirende Sudstanz im Transsudat schneller zunahm als der schwerer diffundirende Lösungsbestandtheil. Folgende Versuche zeigen das Eintreten des erwarteten Resultats:

Versuch IV.

Eine Lösung, welche 7,18% NaCl und 3,605% $MgSO_4$ enthält, transsudirt durch einen Pferdeureter gegen destillirtes Wasser. Filtrationsdruck: 125 cm. Strömungsdauer je 30 Minuten.

Aussendruck cm	Menge des Transsudats ccm	Transportirte feste Substanz[1]) (a. Summe, b. NaCl, c. $MgSO_4$) gr	Prozentgehalt des Transsudats[1]) (a. Summe, b. NaCl, c. $MgSO_4$)	Concentration des Transsudats[2])
16	8,9	a. 1,6263 b. 1,1980 c. 0,4256	a. 17,96 b. 13,40 c. 4,56	— 186 126
104	2,5	a. 1,0463 b. 0,8170 c. 0,2293	a. 41,85 b. 32,70 c. 9,15	— 455 253
16	10,3	a. 1,7051 b. 1,2440 c. 0,4611	a. 16,50 b. 12,08 c. 4,42	— 168 122

1) Es wurde einerseits der Gesammttrockenrückstand, andererseits der Kochsalzgehalt bestimmt, so dass das Magnesiumsulfat aus der Differenz berechnet wurde.

2) Die Concentration der Durchströmungsflüssigkeit = 100 gesetzt.

Versuch V.

Eine Lösung, welche 9,43% festen Rückstand und zwar 5,112% NaCl und 4,318% $MgSO_4$ enthält, transsudirt durch einen Pferdeureter gegen destillirtes Wasser. Filtrationsdruck: 125 cm. Strömungsdauer je 20 Minuten.

Aussendruck cm	Menge des Transsudats ccm	Transportirte feste Substanz [1]) (a. Summe, b. NaCl, c. $MgSO_4$) gr	Prozentgehalt des Transsudats [2]) (a. Summe, b. NaCl, c. $MgSO_4$)	Concentration des Transsudats [2])
16	11,0	a. 1,3690 b. 0,8679 c. 0,5281	a. 12,69 b. 7,79 c. 4,90	— 152 113
104	2,9	a. 1,2929 b. 0,8353 c. 0,4576	a. 44,50 b. 28,79 c. 15,71	— 563 363
16	13,49	a. 1,9264 b. 1,1834 c. 0,7430	a. 14,20 b 8,80 c. 5,40	— 171 125

Noch deutlicher zeigt sich dieses Resultat bei der Anwendung eines Lösungsgemisches einer crystalloiden und einer colloiden Substanz.

Versuch VI.

Eine Lösung, welche 5,024% festen Rückstand und zwar 3,16% NaCl und 1,86% Gummi arabicum enthält, transsudirt durch einen Pferdeureter gegen destillirtes Wasser. Filtrationsdruck 125 cm. Strömungsdauer je 40 Minuten.

Aussendruck cm	Menge des Transsudats ccm	Transportirte feste Substanz (a. Summe, b. Kochsalz, c. Gummi)	Prozentgehalt des Transsudats	Concentration des Transsudats [2])
16	7,7	a. 0,5035 b. 0,3345 c. 0,1690	a. 6,5389 b. 4,34 c. 2,1949	— 137 117
104	1,67	a. 0,3750 b. 0,3280 c. 0,0470	a. 22,455 b. 19,64 c. 2,815	— 621 156
16	6,6	a. 0,4780 b, 0,3535 c. 0,1345	a. 7,24 b. 5,35 c. 1,89	— 169 102

1) 2) Siehe die Anmerk. 1 und 2 der vorigen Seite.

Alle diese Versuche zeigen übereinstimmend das Resultat, dass die leichter diffundirende Componente der Lösung in weit grösserer Concentration transportirt wurde, als der schwerer diffundirende Antheil des Gemischs (Magnesiumsulfat, Gummi).

Damit ist abermals die Richtigkeit meiner physikalischen Deutung des Transsudationsgesetzes erwiesen.

Während die von mir früher veröffentlichten Experimente und ihre Deutung bisher Widerspruch nicht erfahren haben, ist mein Versuch, die hier in schematischen Experimenten gewonnenen Resultate auf die Verhältnisse im Thierkörper zu übertragen, energisch angegriffen worden [1]). Trotzdem muss ich daran festhalten, dass wir es bei der Lymphbildung im Capillargebiet mit Vorgängen zu thun haben, welche mutatis mutandis den von mir skizzirten Versuchen entsprechen, jedenfalls diesen mehr entsprechen, als allen früheren zum Studium der Lymphbildung angestellten schematischen Versuchen [2]). Denn letztere versuchten sämmtlich auf den Lymphbildungsprocess die Gesetze zu übertragen, welche den gewöhnlichen Filtrationsvorgang d. h. das einfache Hindurchpressen einer Flüssigkeit durch die Poren einer Membran in einen mit Luft gefüllten Raum hinein beherrschen. Alle früheren Autoren vernachlässigten den Umstand, dass die Capillaren nicht von Luft, sondern von einer unter Druck stehenden Flüssigkeit umgeben sind, welche — wie unten des näheren erörtert werden wird — auch in ihrem chemischen Verhalten von dem Inhalt der Capillaren wesentlich abweicht. Es ist daher klar, dass, wenn man überhaupt den Vorgang der Lymphbildung von physikalischen Gesetzen abhängig machen will, hierfür nur die von mir untersuchten Gesetze der Transsudation, nicht aber die bisher allein in Betracht gezogenen Gesetze einfacher Filtration massgebend sein können. Mit anderen Worten, ich betone ausdrücklich die Wichtigkeit von Diffusionsvorgängen neben Filtrationsvorgängen beim Zustandekommen der Lymphe. Zwar hat man bereits bei mannigfachen Gelegenheiten die Wichtigkeit der Diffusion für viele Processe im Thierkörper hervorgehoben (Hamburger, Zuntz und J. Cohnstein, v. Brasol, Klikowicz, Gärtner u. A.), aber

1) R. Heidenhain. Pflüger's Archiv. Bd. 56. pg. 362. 1894.

2) S. z. B. Hoppe-Seyler. Virchow's Archiv. Bd. 9. pg. 247.

für den Vorgang der normalen Lymphbildung hatte man im allgemeinen [1]) nur Filtrationsvorgänge verantwortlich machen wollen.

Gegen die rein mechanische Theorie der Lymphbildung trat nun im Jahre 1891 Heidenhain [2]) auf und machte auf verschiedene Punkte aufmerksam, welche theils durch die Filtrationstheorie nicht zu erklären waren, theils mit den Folgerungen der letzteren in Widerspruch standen. Um an dieser Stelle nur den letzteren Einwand Heidenhain's hervorzuheben, so verlangt die Filtrationstheorie entsprechend den Filtrationsgesetzen, dass das Filtrat — wenigstens in Bezug auf crystalloide Substanzen — annähernd dieselbe Zusammensetzung habe, wie die filtrirende Flüssigkeit. Die durch die Capillaren hindurchfiltrirende Lymphe dürfte also nur die Concentration des Blutplasmas besitzen.

Heidenhain weist dagegen darauf hin, dass diese theoretische Folgerung zu einem practischen Nonsens führt, indem z. B. die zum täglichen Verbrauch in der Milchdrüse nöthige Kalkmenge (bis 42,5 gr) entsprechend dem Kalkgehalt des Blutplasmas erst durch 236000 ccm Flüssigkeit aus den Capillaren in das Milchdrüsengewebe transportirt werden könne. Diese Zahl steht zu den Erfahrungen über die Gesammt-Lymphmenge der Kuh in krassestem Gegensatz und so schliesst Heidenhain, dass die Grundlage der ganzen Ueberlegung, nämlich die Filtrationstheorie, falsch sei.

An dieser Stelle setzt meine Ueberlegung ein, indem ich darauf hinweise, dass neben der Filtration auch die Diffusion eine wichtige Rolle bei der Lymphbildung spielt, wodurch sich der gefundene Widerspruch lösen lässt. Ebenso nämlich wie in meinen schematischen Versuchen die Concentration des Transsudats grösser war als die der Ursprungsflüssigkeit, so muss man meiner Meinung nach auch annehmen, dass die aus den Milchdrüsencapillaren transsudirende Gewebeflüssigkeit concentrirter ist als das Blutplasma d. h., dass in einer verhältnissmässig geringen Menge Wasser eine grosse Quantität fester Substanz, in unserem Falle Kalk, befördert werden kann.

Gegen diese meine Auffassung und die daraus sich ergeben-

1) Ganz vereinzelt nur finden sich Hinweise auf die Wichtigkeit der Diffusionsvorgänge. S. z. B. Cohnheim. Allgemeine Pathologie I pg. 435.

2) Pflüger's Archiv. Bd. 49 pg. 209. 1891.

den Einwände gegen seine Secretionstheorie wendet sich Herr Heidenhain in der oben citirten Arbeit mit einer Reihe von Einwürfen, welche ich im Folgenden kurz besprechen werde.

Zunächst — in seinem Aufsatze ist dieser Einwand der Stelle nach der letzte — behauptet Herr Heidenhain[1]), die Versuche, aus welchen ich meine Schlüsse gezogen habe, wichen von den im Organismus gegebenen Bedingungen himmelweit ab und es sei daher prinzipiell unzulässig, die dort gefundenen Resultate ohne Weiteres auf den Thierkörper zu übertragen.

Der spezielle Punkt, der Herrn Heidenhain zu diesem Vorwurf veranlasst, ist der Umstand, dass ich in meinen Versuchen die Salzlösungen gegen destillirtes Wasser habe transsudiren lassen. „Ohne Zweifel" — so sagt Herr Heidenhain auf p. 639 — „ist . . . der Gehalt der Parenchymflüssigkeit an Salzen dem des Plasmas sehr nahe stehend. Wollte also Cohnstein etwas über Capillartranssudat durch entsprechende physikalische Versuche erfahren, so hätte er in dem obigen Beispiel der Innenflüssigkeit von 8,12 % Gehalt an Kochsalz eine Aussenflüssigkeit von mindestens 7 oder 7,5 % gegenüberstellen müssen."

Hierauf möchte ich Herrn Heidenhain unter Hinweis auf p. 526 f. meiner Abhandlung erwidern, dass meiner Meinung nach die Parenchymflüssigkeit chemisch von dem Blutplasma durchaus verschieden ist. Die Gewebeflüssigkeit wird nämlich während des Lebens fortdauernd geändert durch die Lebensthätigkeit der Parenchymzellen, welche in die sie umspülende Gewebeflüssigkeit einerseits ihre Umsatzproducte entleeren und andererseits aus ihr die Nährsubstanzen, deren sie zum Leben und zur Aeusserung ihrer Function bedürfen, beziehen. „Dadurch werden fortdauernd chemische Differenzen zwischen Gewebeflüssigkeit und Capillarinhalt erzeugt und dadurch der Anstoss gegeben zu einem dauernden Diffussionstrom aus den Gefässen in die Gewebeflüssigkeit"[2]). Halten wir uns z. B. an das oben erwähnte Beispiel von dem Kalkbedürfniss der Milchdrüse, so müssen wir bedenken, dass die secernirenden Drüsenepithelien ununterbrochen den Kalk — vermuthlich in Folge einer gewissen chemischen Affinität — aus der Gewebeflüssigkeit an sich ziehen und dadurch

1) pg. 640.

2) a. a. O. pg. 527.

dauernd eine qualitative chemische Differenz zwischen kalkfreier Gewebeflüssigkeit und kalkhaltigem Capillarinhalt setzen, welche einen dauernden Diffusionsstrom des Kalkes aus den Capillaren in die Gewebeflüssigkeit zur Folge haben muss. Wenn ich also bei meinen Versuchen als Aussenflüssigkeit, welche der Gewebslymphe entsprach, destillirtes Wasser, als Innenflüssigkeit, welche das Blutplasma ersetzte, Salzlösungen anwendete, so habe ich meiner Ansicht nach die Verhältnisse des Thierkörpers möglichst nachgebildet. Der einzige Vorwurf, der gegen meine Versuchsanordnung erhoben werden könnte, und den ich mir auch selbst a. a. O. gemacht habe, ist der, dass ich nicht Sorge getragen hatte, dass jedes aus der Innenflüssigkeit heraus in die Aussenflüssigkeit hinein gewanderte Salzmolekül hierselbst sofort gebunden werde. Erst dann hätte ich die Analogie mit dem Thierkörper erreicht. Es liegt auf der Hand, dass bei dem stets aufs Neue hergestellten qualitativen Unterschied zwischen Innen- und Aussenflüssigkeit, wie er im Thierkörper stattfindet, noch weit grössere Salzmengen per diffusionem befördert werden können und müssen, als bei meinen Versuchen. Letztere bieten ja nur in dem Moment des Versuchs b e g i n n s die erforderliche qualitative Differenz dar, während sich mit jedem Salzmolekül, das von Innen nach Aussen wandert, die chemische Beschaffenheit der beiden Flüssigkeiten mehr und mehr ausgleicht. Dadurch wird natürlich — im Gegensatz zum Thierkörper — allmählich die Intensität der Diffusionsvorgänge eingeschränkt und diese würden, wenn die Versuche lange genug fortgesetzt worden wären, schliesslich gänzlich ausgeblieben sein.

Ich kann also, um die Quintessenz der letzten Auseinandersetzungen zu ziehen, die Berechtigung des obigen von Herrn H e i d e n h a i n erhobenen Einwandes gegen meine Versuchsanordnung nicht anerkennen und möchte betonen, dass, wenn von einer mangelnden Analogie zwischen meinen Versuchen und den Verhältnissen im Thierkörper gesprochen werden kann, dieselbe die Zahlen meiner Versuchsergebnisse eher zu klein als zu gross erscheinen lassen wird.

Zu nahezu demselben Resultat führt die Erörterung eines weiteren Einwandes, den Herr H e i d e n h a i n gegen meine Ausführungen erhebt und der auf den ersten Blick scheinbar schlagend ist. Herr H e i d e n h a i n macht mir nämlich einen Vorwurf daraus, dass ich die f ü r d e n U e b e r g a n g e i n e r b e s t i m m t e n M e n g e S u b s t a n z e r f o r d e r l i c h e Z e i t nicht berück-

sichtigt habe; und gerade diese Versäumniss meinerseits habe mich zu unrichtigen Folgerungen veranlasst. Wenn nämlich auch nicht geleugnet werden könne, dass bei dem vor mir geübten Transsudationsverfahren von geringen Wassermengen grosse Quantitäten fester Substanz transportirt werden, so finde man bei Berücksichtigung der hierzu nöthigen Zeit, dass der Transport einer bestimmten Menge fester Substanz um so länger daure, je höher der Aussendruck ist. „Nun kommt es aber für die Organe, welche ein bestimmtes Bedürfniss z. B. an Salz haben, darauf an, dass ihnen auch in der Zeiteinheit diese Salzmenge zugeführt wird."

Den „fundamentalen Irrthum, die Zeit übersehen zu haben", muss ich zunächst meinerseits durchaus in Abrede stellen. Wenn ich es auch unterlassen habe, die zum Transport bestimmter Salzmengen nöthige Zeit in jedem Versuche auszurechnen oder hinzuschreiben, so wird doch in jedem der von mir mitgetheilten Versuche ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die in der Zeiteinheit transportirte absolute Menge fester Substanz mit steigendem Aussendruck abnimmt. Das bedeutet meiner Ansicht nach genau dasselbe, als wenn ich — wie es Herr Heidenhain verlangt — ausgesprochen hätte, dass die zum Transport gleicher Mengen fester Substanz erforderliche Zeit mit steigendem Aussendruck abnimmt. Ich habe es also durchaus nicht vergessen, „die Zeit in Rechnung zu ziehen"!

Nun aber zu dem Beispiel, aus welchem Herr Heidenhain die falschen Folgerungen deduciren will, zu welchen das Uebersehen der Zeit mich veranlasst habe. Wie oben ausgeführt, hatte Herr Heidenhain s. Z. berechnet, dass entsprechend der Filtrationstheorie in der Milchdrüse 236000 ccm Flüssigkeit zum Transport der für die Milch nöthigen Kalkmenge die Blutbahn verlassen müssten. Ich erwiderte hierauf (s. pg. 530 meiner Abhandlung), dass ich es unter den ungünstigen Versuchsbedingungen erreicht habe, dass eine Flüssigkeit von 18facher Concentration durch die Membran transsudirte. „Nehmen wir also", so fahre ich fort, „in unserem Beispiel nur die 10fache Concentration an, so brauchen wir statt der 236000 ccm nur noch 23600 ccm Flüssigkeit als Vehikel." Gegen diese Art der Berechnung wendet sich Herr Heidenhain (s. pg. 636) und sagt, dass unter diesen Umständen „die Ueberführung der Kalkmenge nicht 24 Stunden, sondern ein Multiplum dieser Zeit" kosten würde, womit der Drüse, welche die

42,5 gr Kalk in 24 Stunden gebraucht, natürlich nicht geholfen wäre.

Ich muss zugeben, dass die Heidenhain'sche Deduction richtig ist, aber daraus folgt nicht, dass meine Theorie falsch ist, sondern nur, dass ich das von mir citirte Beispiel nicht passend gewählt habe. — Wenn ich, anstatt die 10fache Concentration für die Gewebslymphe der Milchdrüse zu präsumiren, die 20fache oder eine noch höhere Concentration angenommen hätte, so würde die Drüse die ihr nöthige Kalkmenge in einer sehr geringen Wassermenge innerhalb 24 Stunden erhalten haben. Ich kam beim Niederschreiben meiner Abhandlung zur Wahl der Zahl zehn nur dadurch, dass die dann erforderlichen 23600 ccm gerade durch die 24stündige Milchmenge, nämlich 25 Liter gedeckt wurden.

Wenn ich es bei meinen unter so ungünstigen Bedingungen angestellten Experimenten erreicht habe, dass das Transsudat 18mal so concentrirt war als die Ursprungsflüssigkeit, um wie viel höher wird man dann erst die Concentration der durch die Capillarwände transsudirenden Gewebslymphe veranschlagen dürfen? Es kommt hierfür ja einerseits der oben erwähnte Umstand in Betracht, dass die Parenchymflüssigkeit dauernd chemisch verändert wird, und es ist andererseits zu bedenken, einen wie viel geringeren Widerstand die dünnen Capillarwände verglichen mit den dicken Ureter- und Venenmembranen dem Transsudationsvorgang entgegensetzen werden. Zwar ist es bereits a priori nicht anders zu erwarten (vergl. pg. 524f. meiner früheren Abhandlung), als dass die Concentrationssteigerung des Transsudats desto grösser sein wird, je dünner die Transsudationsmembranen gewählt werden, aber trotzdem habe ich noch einige Parallelversuche über die Transsudation durch dickere und dünnere Membranen angestellt, über die ich im Folgenden kurz berichte.

Versuch VII.

Eine 5,30% Kochsalzlösung transsudirt durch die Vena jugularis eines Pferdes und dann durch die Vena jugularis eines Hundes. Aussenflüssigkeit: Destillirtes Wasser. Filtrationsdruck 90—93 cm. Transsudationsdauer je 40 Minuten.

Aussendruck cm	Menge des Transsudats[1]) gr	Menge der transportirten festen Substanz gr	Prozentgehalt des Transsudats	Concentration des Transsudats[2])	Transsudations-Membran
16	9,88	0,691	6,98	150	Pferdevene
49	4,37	0,477	10,91	206	
16	3,81	0,352	9,24 [3])	178	Hundevene
49	1,34	0,194	14,55 [3])	281	

Versuch VIII.

Eine 5,265 % Kochsalzlösung transsudirt durch die Vena jugularis eines Hundes und dann durch die Vena jugularis eines Pferdes. Aussenflüssigkeit: Destillirtes Wasser. Filtrationsdruck: 88—91 cm. Transsudationsdauer je 30 Minuten.

Aussendruck cm	Menge des Transsudats[1]) gr	Menge der transportirten festen Substanz gr	Prozentgehalt des Transsudats	Concentration des Transsudats[2])	Transsudations-Membran
16	1,85	0,211	11,4	216	Hundevene
49	1,22	0,181	14,8	281	
16	6,28	0,384	6,1	116	Pferdevene
49	3,45	0,271	7,8	148	

Versuch IX.

Eine 5,82 % Kochsalzlösung transsudirt durch den Ureter eines Hundes und dann durch den Ureter eines Pferdes. Aussenflüssigkeit: Destillirtes Wasser. Filtrationsdruck: 85—91 cm. Aussendruck: 55 cm. Transsudationsdauer je 30 Minuten.

---

1) Es könnte auffallen, dass die Transsudatmengen bei Anwendung der dickeren Transsudationsmembranen grösser ausfielen, als bei Verwendung der dünneren Röhren. Allein es ist daran zu erinnern, dass die vom Pferde stammenden Ureteren und Venen wesentlich länger sind als die vom Hunde stammenden Organe, so dass bei ersteren die filtrirende Oberfläche eine weit ausgedehntere ist als bei letzteren.

2) Die Concentration der Durchströmungsflüssigkeit = 100 gesetzt.

3) Die Concentration der Durchströmungsflüssigkeit war auf 5,18 % gesunken.

Menge des Transsudats[1]) gr	Transportirte Substanz gr	Prozentgehalt des Transsudats	Concentration des Transsudats[2])	Transsudations-Membran
1,07	0,171	15,99	274	Hundeureter
4,41	0,505	11,22	192	Pferdeureter

Alle diese Versuche zeigen, dass das Transsudat um so salzreicher gefunden wird, je dünner die angewendete Transsudationsmembran ist. — Wenn sich nun schon bei verhältnissmässig so geringen Dickenunterschieden so handgreifliche Differenzen ergeben, um wie viel energischer wird die Transsudation, oder, was hier dasselbe sagen will, die Diffusion, durch die so unendlich viel feineren Capillaren vor sich gehen!

Transsudations- oder Diffusionsversuche mit Capillargefässen anzustellen, ist aus technischen Gründen unmöglich; allein wir wissen aus anderen Untersuchungen, mit wie grosser Geschwindigkeit Diffusionsvorgänge durch die Capillarwand hindurch vor sich gehen.

Ich erinnere z. B. an den respiratorischen Gasaustausch, welcher sich bekanntlich mit einer ausserordentlich grossen Geschwindigkeit vollzieht. — Ich erinnere ferner an die Untersuchungen von L. v. Brasol[3]) und Klikowicz[4]), in welchen gezeigt wurde, dass Zucker und Salze, welche man in concentrirter Lösung ins Blut spritzte, in wenigen Minuten aus dem Blute in die Gewebe übergetreten waren und dafür so bedeutende Mengen Flüssigkeit aus den Geweben in das Blut hinübergezogen hatten, dass der Blutdruck beträchtlich stieg und der Hämoglobingehalt um 30—60% herabging. Es unterliegt wohl keinem Zweifel, dass es sich hier ausschliesslich um Diffusionsvorgänge gehandelt hat[5]).

---

1) 2) Siehe Anmerkung 1 und 2 der vorigen Seite.

3) Arch. f. (Anat. u.) Physiologie 1884 pg. 211.

4) Ibid. 1886 pg. 518. Auch ein Theil der Versuche v. Regéczy's (Pflüger's Archiv Bd. 37 pg. 73) gehört hierher, obgleich Verfasser selbst andere Gründe für die Erklärung seiner Versuchsergebnisse heranzog. S. die Kritik seiner Versuche bei Zuntz und J. Cohnstein (Pflüger's Archiv Bd. 42 pg. 317. 1888).

5) Wenigstens gilt dies mit Sicherheit von den Salzen. Beim Zucker

Diese und andere Beispiele beweisen also, dass unter den im Körper herrschenden überaus günstigen Bedingungen die Diffusion ausreicht, sehr beträchtliche Mengen fester Substanz aus dem Blute in die Gewebe zu transportiren. Um wie viel mehr wird erst die Möglichkeit eines derartigen Transports zuzugeben sein, wenn sich — wie es meiner Ansicht nach bei der Bildung der normalen Gewebslymphe der Fall ist — zu der Diffusion noch ein nicht ganz unbeträchtlicher Filtrationsstrom gesellt.

Aus dem Ausgeführten ergibt sich meiner Meinung nach, dass die Zeit nicht als Moment in Betracht kommt, welches gegen die Transsudationstheorie spricht. Ich kann nur zugeben, dass in dem von mir gewählten, oben näher besprochenen Beispiel irrthümlicher Weise der zu kleine Werth 10 angesetzt worden ist und durch einen grösseren Werth, 20, 50 oder 100 zu ersetzen ist.

Noch eines dritten Einwandes ist schliesslich zu gedenken, den Herr Heidenhain gegen meine Auseinandersetzung erhebt[1]). Es handelt sich hier um folgenden Passus meiner Arbeit (p. 522): „Zunächst soll eine andere auffallende Thatsache erwähnt und erklärt werden, der Umstand nämlich, dass bei der Transsudation (scil. colloider Substanzen) gegen Flüssigkeit (ohne Rücksicht auf deren Eigendruck) ein nicht unwesentlich concentrirteres Transsudat überging, als bei der einfachen Filtration gegen Luft. Zur Erklärung dieser Beobachtung erinnere ich daran, dass Eiweisssubstanzen, wenn sie auch selbst nicht diffundiren, dennoch mit grosser Begierde Wasser anziehen."

Herr Heidenhain weist in seiner Erwiderung darauf hin, dass die wasseranziehende Kraft des Eiweiss nur eine „Sage" sei und in Wirklichkeit nicht existire. Er weist als Stütze für diesen Satz auf die Untersuchungen von Dreser u. A. hin, welche aus der Gefrierpunktserniedrigung bei Abscheidung des Eiweiss den Schluss gezogen haben, dass die wasseranziehende Kraft des Eiweiss nur sehr gering sei.

---

könnte man vielleicht an eine Mitbetheiligung des glycolytischen Ferments des Blutes denken. S. Vaughan-Harley. Journal of Physiology Bd. 15 Heft 3 pg. 139. 1893.

1) pg. 637.

Jene „Sage" ist jedenfalls eine so verbreitete gewesen, dass sie in den meisten Lehrbüchern Aufnahme gefunden hat, und dass noch heute in verschiedenen physiologischen Collegien diesbezügliche Vorlesungsversuche vorgeführt werden; auch beruhte ja die Ludwig'sche Harnbildungstheorie nicht zum wenigsten auf der Prämisse eines hohen endosmotischen Aequivalents des Plasmaeiweiss. — Ich habe mich nun inzwischen, noch bevor Herrn Heidenhain's Abhandlung in meine Hände gelangt war, und nach einer andereren Methode (s. unten), als sie Dreser angewendet hatte, überzeugt, dass diese angebliche Thatsache allerdings den wirklichen Verhältnissen nicht entspricht. Denn auch ich fand (s. u.) das endosmotische Aequivalent des diffundirenden Serums verhältnissmässig niedrig. — Wenn ich deshalb auch zugeben muss, dass an jener oben erwähnten Stelle meiner früheren Arbeit die „Sage" von der „wasseranziehenden Kraft des Eiweiss" in ihrer Wichtigkeit vielleicht überschätzt worden war, so betone ich doch, dass jener ganze Passus für den Aufbau und die Entwicklung meiner Transsudationstheorie von höchst untergeordneter Bedeutung war. Ich erinnere nämlich bereits auf der folgenden Seite (p. 523) an die von Gottwalt u. A. angegebene und auch von mir bestätigte Thatsache, dass, im Falle colloider Substanzen die Concentration des Filtrats mit sinkendem Filtrationsdruck steigt. Da nun bei der Transsudation gegen Flüssigkeit der Filtrationsdruck unzweifelhaft geringer ist, als bei der Filtration gegen Luft, so musste die Concentration des gegen Flüssigkeit erhaltenen Transsudats schon aus diesem Grunde grösser sein, als die Concentration des gegen Luft erhaltenen Filtrates. — Auf die als weiteren Erklärungsgrund herangezogene „Sage" von der wasseranziehenden Kraft des Eiweiss kann ohne Bedenken verzichtet werden.

Meine Einwände gegen die Secretionshypothese werden durch solche Vorwürfe, welche rein nebensächliche Punkte meiner Auseinandersetzung angreifen, nicht erschüttert.

In unmittelbarem Zusammenhange mit dem bisher Ausgeführten stehen meine Untersuchungen über die sogenannten „Lymphagoga der 1. Gruppe".

1) S. z. B. Fick, Medizinische Physik. 3. Aufl. pg. 40. 1885.

Als „Lymphagoga“ bezeichnet Herr Heidenhain solche Substanzen, welche die Lymphmenge vermehren. Es ist ihm gelungen, eine grössere Anzahl derartig wirkender Stoffe zu entdecken, welche er je nach der Art ihres Angriffspunktes in zwei Gruppen eintheilt.

Meine im Folgenden zu berichtenden Untersuchungen beziehen sich nur auf die erste Gruppe der genannten Mittel, zu welcher Pepton, Extract von Krebsmuskeln, Blutegelextract, Hühnereiweiss etc. gehören. Alle diese Körper rufen, in das Blutgefässsystem der Versuchsthiere injicirt, eine beträchtliche Mengenzunahme der in der Zeiteinheit aus dem Ductus thoracicus fliessenen Lymphe hervor. Zu gleicher Zeit ändert sich die Zusammensetzung der Lymphe: ihr Gehalt an festen Substanzen, und zwar an organischem Rückstand, steigt, ihre Gerinnbarkeit nimmt ab.

Nach den Prämissen der Filtrationstheorie konnte die lymphtreibende Wirkung jener Substanzen nur durch eine Steigerung des Filtrationsdrucks erklärt werden. Herr Heidenhain zeigte aber, dass eine in Betracht kommende Steigerung des arteriellen Blutdrucks durch jene Mittel nicht verursacht wird, und desswegen, sowie in Berücksichtigung der eigenartigen chemischen Veränderung, welche die Lymphe erleidet, glaubt er eine physikalische Wirksamkeit jener Lymphagoga in Abrede stellen zu sollen. Er denkt vielmehr an einen, durch jene Mittel auf die Endothelzellen der Capillarwand ausgeübten secretionsfördernden Reiz. So gliederten sich die an den lymphtreibenden Mitteln gewonnenen Erfahrungen in zwangloser Weise der Heidenhain'schen Lymphbildungstheorie an.

Herr Starling, welcher, obgleich früher Heidenhain's Anhänger [1]), in neuester Zeit wieder als Verfechter der Filtrationstheorie aufgetreten ist, hat eine andere Erklärung für die Wirkungsweise jener Lymphagoga erster Ordnung gegeben [2]). Er geht von der Ansicht aus, dass eine der wichtigsten, ja vielleicht die allerwichtigste Quelle der Lymphe das Gebiet der Pfortader sei; aus diesem Grunde genüge es nicht, den arteriellen Blutdruck zu controlliren, man müsse vielmehr auch den intraportalen Blutdruck und seine Beeinflussung durch die Lymphagoga messen, und bei der Erklärung der lymphtreibenden Wirkung jener Mittel in Be-

1) Journal of Physiology XIV. No. 1 u. 2. pg. 131. 1893.

2) The Journal of Physiology XVIII. 1 u. 2. pg. 36. August 1894.

tracht ziehen. Starling fand nun, dass der intraportale Druck bei Anwendung der genannten Lymphagoga — wohl in Folge von Splanchnicuslähmung — vorübergehend ansteigt. Die Steigerung hält aber nicht länger als höchstens eine Stunde an und bewegt sich innerhalb sehr niedriger Grenzen. — Aus diesem Grunde glaubt Herr Starling neben der Erhöhung des Pfortaderdrucks (und dadurch bedingter Zunahme des Filtrationsdrucks in der Leber) noch einen zweiten Factor für die Erklärung der lymphtreibenden Wirkung des Peptons etc. heranziehen zu sollen, nämlich[1]: „that they increase the permeability of the capillaries".

Die experimentelle Begründung der letzten Meinung bleibt Verfasser schuldig. Er sagt nur, da ja Pepton und die anderen genannten Mittel Gifte für Herz, Muskeln und weite Blutkörperchen seien, so sei es „only natural, that these bodies should, also have a deleterious action on the endothelial cells of the hepatic capillaries".

Nach meiner Ansicht ist die Erklärung für die lymphtreibende Wirkung des Peptons etc. an einer ganz anderen Stelle zu suchen.

Wie ich in dem ersten Abschnitt dieser Arbeit ausgeführt habe, ist die Lymphe, welche ich als ein Transsudat in dem Sinne der auf p. 350 gegebenen Definition ansehe, eine Function der Grösse $a - d$, worin a die aus den Capillaren in die Gewebeflüssigkeit per filtrationem hinübertransportirte Wassermenge, d die durch Diffusion aus der Gewebeflüssigkeit in die Capillaren zurückgewanderte Flüssigkeitsmenge bedeutet. Eine Zunahme der Lymphmenge kann also erfolgen durch Grösserwerden von a oder durch Kleinerwerden von d. Eine — in Betracht kommende — Aenderung der Grösse a kommt nach den Angaben von Heidenhain und Starling durch jene Lymphagoge nicht zu Stande, es gilt nun zu untersuchen, ob sich etwa die Grösse d unter der Einwirkung von Pepton etc. verändert. Eine Abnahme der Grösse d würde einem Sinken des endosmotischen Aequivalents $\frac{d}{c}$ gleichkommen[2].

Um diese Frage experimentell aufzuklären, ging ich in der Weise vor, dass ich reines, bezw. mit Pepton, Krebsmuskelextract

1) pg. 42.

2) Ueber die Bedeutung der Grösse c siehe pg. 351.

u. s. w. versetztes Hundeserum durch eine thierische Membran gegen destillirtes Wasser diffundiren liess. Als Membranen benutzte ich die Nierenkapseln junger Hunde, welche in Glycerin conservirt und vor dem Gebrauch gründlich mit destillirtem Wasser ausgewaschen worden waren. Es wurden stets 2 bis 3 Diffusionsröhren (abgesprengte Reagenzgläser) mit Stücken derselben Kapsel überbunden, mit der genau abgemessenen Menge Serum bezw. Serumgemisch gefüllt und in einen mit destillirtem Wasser gefüllten Scheidetrichter unter Vermeidung jeder Niveaudifferenz versenkt. Verdunstung wurde durch Ueberschichten mit Paraffinöl verhindert. Nach 24—48 Stunden wurde der Versuch unterbrochen. Es wurden jedesmal folgende Daten bestimmt:

1) Die Menge des beim Versuchsbeginn in das Diffusionsrohr gefüllten Serums bezw. Serumgemischs ($=f$ ccm).

2) Die Concentration desselben ($=g$ %).

3) Die Concentration des am Ende des Versuchs in dem Diffusionsrohr befindlichen Serums bezw. Serumgemischs ($=h$ %).

4) Die Menge der in das Aussenwasser diffundirten festen Substanz ($=c$ gr)

Um den Wasserzuwachs (d) in dem Diffusionsrohr zu berechnen, dient folgende Ueberlegung:

Bei Beginn des Versuches befanden sich in dem Diffusionsrohr $\frac{fg}{100}$ gr fester Substanz; am Ende des Versuches wurden in dem Diffusionsrohr wieder gefunden $\frac{(f+d)}{100}\,h$ gr. Die Differenz beider Grössen ist gleich der in das Aussenwasser diffundirten Menge fester Substanz $= c$ gr. Es gilt also die Gleichung

$$\frac{fg}{100} - \frac{(f+d)\,h}{100} = c$$

$$f + d = \frac{fg - 100\,c}{h}$$

$$d = \frac{fg - 100\,c}{h} - f$$

Das endosmotische Aequivalent $\frac{d}{c}$ ist also =

$$\frac{f(g-h) - 100\,c}{h\,.\,c.}$$

Um etwaige Verschiedenheiten in der Durchlässigkeit der

Diffusionsmembranen auszugleichen, wurden die letzteren von Versuch zu Versuch gewechselt.

Jetzt mögen einige Versuchsprotokolle folgen:

No.	Diffundirende Flüssigkeit	$\frac{f \cdot g}{100}$	h		d	$\frac{d}{c}$
X	Pferdeserum					
	a. normal	0,491	4,66	0,0385	0,71	18,4
	b. mit Krebsextract	0,4998	4,90	0,042	0,34	8,1
XI	desgl.					
	a. normal	0,555	4,41	0,0685	1,032	15,1
	b. mit Krebsextract	0,598	4,59	0,098	0,893	9,1
XII	desgl.					
	a. normal	0,577	4,20	0,080	1,833	22,9
	b. mit Krebsextract	0,597	4,39	0,133	0,569	4,3
XIII	desgl.					
	a. normal	0,467	3,62	0,0815	0,649	7,9
	b. mit Pepton	0,504	3,83	0,1135	0,196	1,7
XIV	desgl.					
	a. normal	0,555	4,41	0,0685	1,032	15,1
	b. mit Pepton	0,801	6,01	0,1500	0,832	5,6
XV	desgl.					
	a. normal	0,577	4,20	0,080	1,833	22,9
	b. mit Pepton	0,733	4,77	0,195	1,279	6,5
XVI	desgl.					
	a. normal	0,549	4,10	0,1095	0,719	6,5
	b. mit Pepton	0,657	4,84	0,1615	0,238	1,4
XVII	desgl.					
	a. normal	0,418	3,27	0,0605	0,932	15,4
	b. mit Pepton	0,453	3,57	0,0760	0,560	7,4

Alle diese Versuche — Abweichungen wurden niemals beobachtet — zeigen das übereinstimmende Resultat, dass das endosmotische Aequivalent des Hundeserums durch Hinzufügung von Krebsmuskelextract bezw. Pepton wesentlich sinkt. Es ergibt sich hieraus, dass die Grösse $a-d$, d. h. die Lymphmenge bei Pepton- etc. Darreichung zunimmt in Folge von Kleinerwerden der Grösse d. Die Grösse c dagegen steigt, und aus diesem Grunde nimmt der Trockenrückstand der Peptonlymphe an Menge zu.

Der wesentliche Unterschied zwischen meiner Deutung der lymphagogen Wirkung jener Substanzen und der von Heidenhain und Starling gegebenen Erklärungsweise liegt darin, dass nach meiner Ansicht jene Stoffe das Blut bezw. Serum chemisch verändern, während jene Autoren an eine Alteration der Capillarzellen gedacht hatten. Dass wirklich chemische Veränderungen innerhalb des Blutes nach Pepton- etc. Darreichung eintreten, lässt sich bereits aus der Abnahme der Gerinnbarkeit und aus der

schweren Alteration der farblosen Blutkörperchen[1]) erkennen. Dass aber die durch jene Stoffe hervorgerufene Veränderung im Chemismus eine genügende Erklärung für die lymphtreibende Wirkung jener Substanzen abgibt, glaube ich durch obige Versuche erwiesen zu haben.

War diese meine Auffassung die richtige, so musste es vermittelst meines Transsudationsapparates gelingen, die transsudationsfördernde Wirkung des Peptons etc. zu demonstriren.

Leider konnte hierzu der quantitativen Verhältnisse wegen nicht das Blut bezw. Serum von Hunden benutzt werden, sondern ich musste zum Pferdeserum meine Zuflucht nehmen. Um mich jedoch über das Verhalten des letzteren zunächst zu orientiren, bezw. um zu erproben, ob dasselbe durch Pepton etc. in der analogen Weise verändert wird wie Hundeserum, stellte ich vorerst einige Diffusionsversuche mit Pferdeserum in der oben angegebenen Weise an:

No.	Diffundirende Flüssigkeit	$\frac{f \cdot g}{100}$	h	c	d	$\frac{d}{c}$
XVIII	Pferdeserum					
	a. normal	0,4625	4,30	0,0385	0,97	24,9
	b. mit Krebsmuskelextract	0,480	4,68	0,045	0,29	6,4
XIX	Pferdeserum					
	a. normal	0,709	5,62	0,0915	0,987	10,8
	b. mit Hühnereiweis	0,742	5,73	0,133	0,628	4,7
XX	Pferdeserum					
	a. normal	0,709	5,62	0,0915	0,987	10,8
	b. mit Pepton	0,7236	5,80	0,1245	0,329	2,7
XXI	Pferdeserum					
	a. normal	0,4375	4,29	0,044	0,17	3,9
	b. mit Krebsmuskelextract	0,4543	4,54	0,0375	0,18	4,9
XXII	Pferdeserum					
	a. normal	0,6310	4,694	0,0970	1,376	14,2
	b. mit Krebsmuskelextract	0,6654	5,16	0,0747	1,447	19,4
XXIII	Pferdeserum					
	a. normal	0,6310	4,694	0,0970	1,376	14,2
	b. mit Pepton	0,7196	5,158	0,116	1,702	14,7

Aus diesen Versuchen ergiebt sich, dass das Pferdeblut bezw. — Serum nicht immer in derselben Weise durch die lymphagogen Substanzen verändert wird: bald trat das erwartete Sinken des endosmotischen Aequivalents ein, bald wurde es vermisst. —

1) Botkin, Virchow's Archiv. October 1894.

Entsprechend diesen Diffusionsversuchen gestalteten sich dann auch die Transsudationsversuche. In etwa der Hälfte der Fälle trat unter der Wirkung der Lymphagoga eine Zunahme der Transsudatmenge ein, in der anderen Hälfte der Versuche blieb die erwartete Steigerung aus.

Bei der Würdigung der im Folgenden mitzutheilenden Protokolle ist es zu berücksichtigen, dass die durch eine Membran in der Zeiteinheit transsudirende bezw. filtrirende Flüssigkeitsmenge, wenn es sich, wie in allen folgenden Versuchen, um colloide Substanzen handelt, mit der Dauer der Durchströmung abnimmt. (W. Schmidt u. A.) Demgemäss stellen sich in den Versuchen 28—31, in welchen sich die Lymphagoga unwirksam erwiesen, die Transsudatmengen in einer progressiv abnehmenden Reihe dar. In den Versuchen 24—27 dagegen, in welchen die transsudationsfördernde Wirkung der Lymphagoga erkennbar ist, werden die mehr und mehr abnehmenden Werthe von höheren Zahlen unterbrochen, sobald statt des einfachen Serums ein Gemisch von Serum plus Lymphagogum durch den Transsudationsapparat geschickt wurde.

Im übrigen sind die Versuche durchaus in derselben Weise angestellt worden, wie die früher mitgetheilten Transsudationsexperimente.

Versuch XXIV.

Je 900 ccm Pferde-Blutserum, mit 200 ccm 1% Kochsalzlösung bezw. mit 200 ccm einer Lösung von Krebsmuskelextract in 1% Kochsalzlösung versetzt, transsudiren durch einen Pferdeureter gegen 1% Kochsalzlösung. Zeit je 30 Minuten.

Transsudatmengen[1]: 3,30 gr; **3,81** gr; 2,34 gr; **2,41** gr; 2,16.

Versuch XXV.

Derselbe Versuch mit frischem Serum. Zeit je 45 Minuten.

Transsudatmengen[1]: 2,43 gr; **2,78** gr; 2,41 gr.

Versuch XXVI.

Derselbe Versuch mit frischem Serum. Zeit je 15 Minuten.

Transsudatmengen[1]: 2,85 gr; 2,29 gr; **3,26** gr; **2,52** gr; 185 gr; 189 gr.

---

1) Die fett gedruckten Zahlen entsprechen den bei Transsudation des Serum-Krebsextract- bezw. Serum-Pepton-Gemischs erhaltenen Werthen.

Versuch XXVII.

Je 900 ccm Pferdeserum, einerseits mit 200 ccm H_2O, andererseits mit einer Lösung von 8 gr Pepton in 200 ccm H_2O, versetzt, transsudiren durch die Vena jugularis eines grossen Hundes gegen destillirtes Wasser. Zeit je 15 Minuten.

Transsudatmengen[1]: 0,76 gr; 0,82 gr; **0,92** gr; **0,94** gr; 0,73 gr; 0,83 gr.

Versuch XXVIII.

Derselbe Versuch. Als Lymphagogum: Krebsmuskelextract. Zeit je 45 Minuten.

Transsudatmengen[1]: 3,12 gr; **2,84** gr; 2,57 gr.

Versuch XXIX.

Derselbe Versuch. Als Lymphagogum: Pepton. Zeit je 15 Minuten.

Transsudatmengen[1]: 1,85 gr; 1,62 gr; **1,54** gr; **1,42** gr; 1,43 gr; 130 gr; **1,38** gr; **1,25** gr.

Versuch XXX.

Derselbe Versuch. Zeit je 15 Minuten.

Transsudatmengen[1]: 3,40 gr; 2,89 gr; **2,66** gr; **2,67** gr; 266 gr.

Versuch XXXI.

Derselbe Versuch. Zeit je 15 Minuten.

Transsudatmengen[1]: 2,98 gr; 2,73 gr; **2,68** gr; **2,57** gr; 2,40 gr; 2,44 gr.

Wo der Grund dafür liegt, dass die lymphagoge Wirkung des Krebsextracts bezw. Peptons beim Pferdeserum nicht mit der gleichen Regelmässigkeit in Erscheinung tritt, wie beim Hundeserum, vermag ich nicht mit Bestimmtheit zu sagen. Ich glaube aber annehmen zu dürfen, dass chemische Differenzen zwischen den verschiedenen Serumarten den Unterschied bedingen mögen, denn es erschien auffallend, dass mit frischem Pferdeserum der Versuch meist (nicht immer) positiv ausfiel, während älteres, leicht faulig riechendes oder mit Blutfarbstoff tingirtes Serum durch die Lymphagoga nicht in der characteristischen Weise verändert wurde.

Wie dem aber auch sein mag, jedenfalls glaube ich durch meine obigen Versuche gezeigt zu haben, dass das Blut von Hunden, und um diese Versuchsthiere hatte es sich in der

1) S. Anm. auf pag. 370.

Heidenhain'schen Arbeit stets gehandelt, durch die Einwirkung von Pepton, Krebsmuskelextract etc.[1]) in seinem chemischen Verhalten so geändert wird, dass sein endosmotisches Aequivalent sinkt und dadurch die Lymphmenge steigt.

In dem letzten Capitel glaube ich den Nachweis erbracht zu haben, dass einer derjenigen Punkte, welcher Herrn Heidenhain s. Z. zum Aufgeben der physikalischen Lymphbildungstheorie und zum Aufstellen seiner Secretionshypothese veranlasste, auf physikalisch-chemischem Wege gedeutet werden kann, vorausgesetzt, dass man sich mit mir zu der Annahme versteht, dass die Lymphbildung einen Transsudationsprocess darstellt, d. h. einen Vorgang, welcher durch gleichzeitig angreifende Filtrations- und Diffusionskräfte geregelt wird.

Ich halte es jetzt für an der Zeit, noch einmal die verschiedenen Stützpunkte der Heidenhain'schen Secretionstheorie aufzuzählen und die kritischen Einwendungen, welche gegen dieselben inzwischen erhoben worden sind, abzuwägen.

Den ersten Punkt der Heidenhain'schen Beweisführung habe ich bereits in meiner früheren Arbeit zum Gegenstand meines Angriffs gemacht. Ich habe dort gezeigt, dass die von Herrn Heidenhain aufgestellte Forderung, dass bei der Lymphbildung kleine Flüssigkeitsmengen grosse Mengen fester Substanz transportiren, mit den Consequenzen der Transsudations-

---

1) Was das Eiereiweiss anlangt, so hatte Herr Heidenhain hier ebenfalls eine — allerdings inconstante — lymphtreibende Wirkung beschrieben. Entsprechend dieser Angabe fand ich die Einwirkung des Eiereiweiss auf das endosmotische Aequivalent des Serums bald positiv, bald negativ. — Während im Versuch 19 ein Beispiel für den positiven Ausfall des Experiments gegeben ist, möge der folgende Versuch als Probe eines negativen Resultats dienen:

Versuch XXXII.

	Hundeserum	$\frac{fg}{100}$	h	c	d	$\frac{d}{c}$
a.	normal	0,5710	4,78	0,075	0,399	5,3
b.	mit Hühnereiweiss	0,7170	5,93	0,093	0,522	5,6

hypothese im Einverständniss steht, so dass die Annahme einer secretorischen Thätigkeit der Capillarendothelien nicht erforderlich wird.

Der zweite Punkt, welchen Heidenhain zum Gegenstand des Angriffs gegen die alte physikalische Lymphbildungstheorie wählt, ist die mangelnde Proportionalität zwischen dem arteriellen Blutdruck und der durch diesen gebildeten Lymphmenge. Wenn wirklich, so etwa schliesst er, die Lymphe ein Filtrat darstellt oder die Filtration auch nur eine gewisse Rolle bei ihrer Bildung spielt, so muss einem Steigen und Sinken des arteriellen Blutdrucks ein proportionales Steigen und Sinken der Lymphmenge entsprechen. Diese Consequenz der Filtrationshypothese trifft nun in Wirklichkeit nicht zu, denn es gelingt durch gewisse Eingriffe Steigerungen und Verminderungen des arteriellen Blutdrucks ohne entsprechende Zu- bezw. Abnahme der Lymphbildung hervorzurufen.

Den principiellen Fehler, welcher in dieser Obduction liegt, hat Herr Starling aufgedeckt[1]). Dieser Autor weist nämlich darauf hin, dass der Filtrationsdruck, welcher die Lymphe liefert, keineswegs dem arteriellen Blutdruck gleichzusetzen sei. Da nämlich die Filtration nicht in den Arterien, sondern in den Capillaren erfolge, so könne man die Lymphmenge auch nur zu dem intracapillären Blutdruck in ein Abhängigkeitsverhältniss bringen. Da nun aber die Schwankungen des intracapillaren Blutdrucks keineswegs identisch oder auch nur proportional sind mit den Schwankungen des arteriellen Blutdrucks[2]), so darf man nicht — wie Herr Heidenhain es gethan hat — von einem Sinken oder Steigen des arteriellen Blutdrucks ohne weiteres auf ein Sinken oder Steigen des lymphbildenden Filtrationsdruckes schliessen.

Um über den letzteren etwas aussagen zu können, muss man vielmehr neben dem arteriellen auch den intravenösen und — bei der Wichtigkeit des Pfortadergebiets für die Lymphbildung — auch den intraportalen Blutdruck messen und seine unter den verschiedenen Eingriffen stattfindenden Schwankungen controlliren. Dies hat Herr Starling in einer grösseren Versuchs-

1) Journal of Physiology XVI. Heft 3 u. 4. pg. 224. 1894.

2) Bayliss und Starling. Journal of Physiology. Bd. 16. Heft 3 u. 4. pg. 159. April 1894.

reihe gethan und ist dabei zu dem Resultat gekommen, dass eine völlige Proportionalität zwischen intracapillarem Filtrationsdruck und Lymphmenge besteht. Damit ist der Heidenhain'schen Secretionshypothese eine weitere wichtige Stütze genommen.

Ein dritter Punkt, welchen Herr Heidenhain zu Gunsten seiner Theorie anführt, ist das Verhalten der Lymphagoga I. Ordnung, welche eine Steigerung der Lymphbildung ohne entsprechende Zunahme des Filtrationsdruckes bewirken. — Ich glaube in den vorstehenden Seiten eine genügende Aufklärung für diese Thatsache gegeben zu haben, welche mit den physikalisch-chemischen Grundgesetzen im Einverständniss ist und daher die Annahme einer secretorischen Thätigkeit der Capillarzellen überflüssig macht.

Schliesslich ist noch eines vierten und letzten Punktes zu gedenken, welcher Herr Heidenhain zur Aufstellung seiner Lymphbildungstheorie veranlasst hat. Injicirt man nämlich in das Blutgefässsystem eines Thieres die Lösung einer crystalloiden Substanz (Zucker, Kochsalz) und untersucht nach einiger Zeit die Concentration dieses injicirten Stoffes im Blut und in der Lymphe, so findet man in der letzteren constant einen — oft wesentlich — höheren Procentgehalt. — Diese Thatsache scheint mit den gang und gäben Anschauungen über Filtration und Diffusion nicht in Einklang zu bringen, denn es ist physikalisch nicht ohne Schwierigkeit zu erklären, wie eine Substanz aus einer weniger concentrirten Lösung (Blut) in eine concentrirte (Lymphe) hinein transportirt werden kann.

Herr Senator wies gelegentlich der Discussion über meinen oben citirten Vortrag in der Berliner physiologischen Gesellschaft darauf hin, dass bei der Filtration eines Gemisches von colloiden und crystalloiden Substanzen die letzteren im Filtrat häufig in einer grösseren Concentration gefunden werden, als in der filtrirenden Ursprungsflüssigkeit. Diese Thatsache ist von Hoppe-Seyler[1]), A. Löwy[2]), Runeberg[3]), W. Schmidt[4]) u. A. beobachtet worden und schien geeignet, die von Heidenhain am lebenden

1) Virch. Arch. IX. 1856. pg. 269.

2) Ztschrft. f. physiolog. Chemie IX. 1885. pg. 555.

3) Archiv d. Heilkunde 1877. Bd. 18. pg. 55.

4) Poggendorff's Annalen 1861. Bd. 114. pg. 337.

Thiere beobachtete Thatsache auf physikalische Gesetze zurückzuführen.

Um diese Frage zu entscheiden, habe ich eine grössere Reihe von Filtrationsversuchen[1]) unter Anwendung eines Gemisches von crystalloiden und colloiden Substanzen angestellt, über welche ich im Folgenden berichte:

No.	Filtrirende Flüssigkeit	Filtrationsmembran	Filtrationsdauer	Concentration der filtrirenden Flüssigkeit an colloider Substanz in %	Concentration der filtrirenden Flüssigkeit an crystalloider Substanz in %	Concentration der filtrirten Flüssigkeit an colloider Substanz in %	Concentration der filtrirten Flüssigkeit an crystalloider Substanz in %
XXXIII	Pferdeserum mit Kochsalz	Ureter	45 Min.	6,01	4,70	3,60	4,31
XXXIV	Serum mit Kochsalz	„	30 „	6,76	4,80	5,32	4,56
XXXV	„	„	45 „	6,60	4,88	5,76	4,58
XXXVI	Serum	Vene	30 „	6,07 6,10	1,305 1,365	5,62	1,26
XXXVII	Serum mit Kochsalz	„	45 „	5,86	6,35	5,60	6,28
XXXVIII	„	„	30 „	5,88	2,64	5,58	2,49
XXXIX	Gummi mit Kochsalz	„	45 „	1,940 1,960	7,015 7,000	1,83	6,870
XXXX	„	„	30 „	2,19 2,21	5,105 5,09	2,045	4,985
XXXXI	„	Ureter	30 „	1,93	4,36	1,805	4,30
XXXXII	„	„	45 „	1,93 1,935	4,35 4,36	1,78	4,31
XXXXIII	„	Schweinsblase	60 „	1,92 1,935	4,35 4,37	1,915	4,31
XXXXIV	„	„	2 Stunden	1,925 1,900	4,335 4,355	1,920	4,325
XXXXV	„	dicke Schweinsblase	4 Tage	2,04	4,55	1,188	5,10
XXXXVI	„	„	2 „	2,12	4,78	1,94	5,19
XXXXVII	„	„	1 Tag	2,15	4,86	2,13	5,62
XXXXVIII	„	„	2 Tage	3,50	7,56	2,92	7,58
XXXXIX	„	„	1 Tag	3,52	7,59	3,21	7,88
L	„	dicke Blase	1 „	3,71	7,80	3,23	8,26

Aus diesen Versuchen ergiebt sich, dass die von Hoppe-Seyler u. A. gefundene oben citirte Thatsache nur für dicke Filtrationsmembranen zutrifft, bei denen die Filtration sehr langsam verläuft. Hier, nämlich in den Versuchen 45—50 fand ich, wie jene Autoren,

1) Es versteht sich von selbst, dass jede Möglichkeit einer Verdunstung durch geeignete Versuchsanordnung (Ueberschichten mit Paraffinöl) ausgeschlossen war.

stets, dass der Gehalt des Filtrats an crystalloider Substanz grösser war, als der der filtrirenden Flüssigkeit. — In den anderen Versuchen aber (Versuch 33—44) zeigte sich, obgleich vielfache Variationen in der Versuchsanordnung vorgenommen wurden, übereinstimmend das Gesetz, dass das Filtrat an colloiden und crystalloiden Substanzen höchstens der filtrirenden Flüssigkeit gleich, gewöhnlich aber weniger concentrirt gefunden wurde.

Da es nun keinem Zweifel unterliegen kann, dass die Capillarwände, wenn überhaupt, so sicherlich eher mit den dünnen Filtrationsmembranen (Venen, Ureteren), als mit den dicken Schweinsblasen verglichen werden müssen, so glaube ich, dass etwaige Filtrationsvorgänge durch die Capillarwand nach den für die dünnen Filtrationsmembranen giltigen Gesetzen sich abspielen werden. Da, wie oben gezeigt, bei diesen ein Wachsen der Concentration des Filtrats über die Concentration der filtrirenden Flüssigkeit hinaus nicht vorkommt, so glaube ich nicht, dass an dem von Herrn Senator versuchten Erklärungsmodus festgehalten werden kann.

Noch an eine andere Erklärungsweise konnte man denken. Wie oben wiederholt hervorgehoben wurde, haben die Untersuchungen von Starling zu dem Schlusse geführt, dass eine der Hauptquellen für die Lymphbildung in dem Gebiet der Pfortader zu suchen ist. Es war nun die Möglichkeit in Erwägung zu ziehen, ob nicht in dem Pfortaderblut die Salze in einer höheren Concentration angetroffen werden, als in dem arteriellen Blut. Gelang es dies zu zeigen, so war die von Heidenhain gefundene oben erwähnte Thatsache einfach in der Weise zu erklären, dass die abnorm salzreich gefundene Lymphe ein Filtrat des abnorm salzreichen Pfortaderblutes sei.

Um diese Frage auf experimentellem Wege zu beantworten, verglich ich den Salzgehalt des Pfortaderblutes mit dem des Carotidenblutes. Als Versuchsthiere dienten Kaninchen und Hunde. Zu gleicher Zeit wurde dem narcotisirten Thier aus der freigelegten Carotis- und Pfortader eine bestimmte Menge Blut entzogen. Dasselbe wurde gewogen und zur Trockne eingedampft. Der Rückstand wurde bei schwacher Flamme verkohlt, die Kohle wiederholt mit heissem Wasser extrahirt und durch ein aschefreies Filter filtrirt. Das Filtrat wurde eingedampft, getrocknet und geglüht, das Filter getrocknet und verascht. Das Gewicht des geglühten

Wasserextracts, addirt zu dem Gewicht des veraschten Filters, gab die Menge der Gesammtasche der verwendeten Blutprobe. In einigen Versuchen wurde auch das Chlor der Blutasche direct bestimmt (Wägung als Chlorsilber).

Versuch LI.

Einem Kaninchen von 1950 gr Gewicht werden 8,9325 gr Blut aus der Carotis und zu gleicher Zeit 4,591 gr Blut aus der Pfortader entnommen.

Aschegehalt des Carotisblutes: 0,078 gr = 0,87%
" " Pfortaderblutes: 0,041 " = 0,89 " .

Versuch LII.

Einem Kaninchen von 2950 gr Gewicht werden 10,7325 gr Blut aus der Carotis und 10,5925 gr Blut aus der Pfortader entnommen.

Aschegehalt des Carotisblutes: 0,0980 gr = 0,92%
" " Pfortaderblutes: 0,1045 " = 0,98 " .

Versuch LIII.

Einem Hund von 5700 gr Gewicht werden 22,4 ccm Kochsalzlösung mit 3,45 gr NaCl in die Vena jugularis externa injicirt. 6 Minuten nach Beendigung der Injection werden dem Thiere 20,88 gr Blut aus der Carotis und zugleich 21,80 gr Blut aus der Pfortader entnommen.

Aschegehalt des Carotisblutes: 0,169 gr = 0,81%
" " Pfortaderblutes: 0,2075 " = 0,95 " .

Nach diesen Versuchen hatte es den Anschein, als ob wirklich das Pfortaderblut sowohl beim normalen als auch besonders bei einem mit Kochsalz überschwemmten Thiere salzreicher sei, als das arterielle Blut. Allein es war auch die Möglichkeit zu erwägen, ob nicht jener überschüssige Salzgehalt nur die Folge der reichlichen Darmresorption bei den wohl gefütterten Versuchsthieren darstelle. Deshalb wiederholte ich denselben Versuch an zwei, seit mehreren Tagen nüchternen Hunden.

Versuch LIV.

Einem hungernden Hunde von 3450 gr Gewicht werden 24,5 ccm Kochsalzlösung mit 2,08 gr NaCl in die Vena jugularis externa injicirt. 10 Minuten nach Beendigung der Injection werden dem Thiere 19,59 gr Blut aus der Carotis und zugleich 16,72 gr Blut aus der Pfortader entnommen.

Aschegehalt des Carotisblutes: 0,189 gr = 0,96%
" " Pfortaderblutes: 0,159 " = 0,95 " .

Versuch LV.

Einem hungernden Hunde von 3750 gr Gewicht wurden 20 ccm Kochsalzlösung mit 2,46 gr NaCl in die Vena jugularis externa injicirt. 13 Minuten nach Beendigung der Injection werden dem Thiere 22,17 gr Blut aus der Carotis und zugleich 22,43 gr Blut aus der Pfortader entnommen.

Aschegehalt des Carotisblutes:	0,222 gr	=	1,00 %
„ „ Pfortaderblutes:	0,2035 „	=	0,91 „
Kochsalzgehalt des Carotisblutes:	0,162 „	=	0,73 „
„ „ Pfortaderblutes:	0,165 „	=	0,73 „.

Man sieht also, dass bei Hungerthieren die Differenzen im Salzgehalt der beiden Blutarten verschwinden. Da nun die Versuche Heidenhain's überwiegend an Hungerthieren angestellt sind, so ist der von mir oben gegebene Erklärungsversuch abzulehnen.

Resumire ich die Ergebnisse der letzten Versuchsreihen, so ergibt sich, dass weder der von Senator, noch der von mir versuchte Erklärungsmodus ausreicht, die von Heidenhain gefundene Thatsache physikalisch zu deuten. Wenn ich trotzdem die negativen Resultate dieser letzten Versuche mitgetheilt habe, so geschah das, um andere Forscher vor überflüssigen und aussichtslosen Bemühungen nach dieser Richtung hin zurückzuhalten. Es wird die Aufgabe weiterer Bemühungen sein müssen, eine physikalische Deutung für diese einzige Thatsache zu geben, welche mit den Consequenzen der physikalischen Lymphbildungstheorie vorläufig noch in einem gewissen Widerspruch zu stehen scheint und die letzte Stütze der Heidenhain'schen Lymphsecretionstheorie abgibt.

Die vorstehende Arbeit ist ebenso, wie meine frühere diesbezügliche Untersuchung, in dem Laboratorium der kgl. thierärztlichen Hochschule zu Berlin unter Leitung von Herrn Professor Dr. Hermann Munk ausgeführt worden. Es ist mir ein Bedürfniss, Herrn Professor Munk auch an dieser Stelle noch einmal meinen herzlichen Dank auszusprechen.

Ueber die Grenzen der Theilbarkeit der Eisubstanz.

Von

Jacques Loeb,
University of Chicago.

Mit 22 Abbildungen.

1. Die wesentlichen Fortschritte, welche die Physik und Chemie den modernen Vorstellungen über Atome und Molecüle verdanken, legen den Gedanken nahe, dass auch für die rationelle Gestaltung der Physiologie eine bestimmtere Einsicht in die Grenzen der Theilbarkeit lebender Substanz von Bedeutung sein müsse. Als Kriterium der lebenden Substanz könnten wir die Reizbarkeit oder auch die „Activität" oder Spontaneität bezeichnen. Da jedoch die „Activität" lebender Substanz in ihrer einfachsten Form (bei Amoeben) anscheinend nicht von den Vorgängen bei physikalischen Ausbreitungserscheinungen verschieden ist, so lässt sich aus diesen physikalischen Erscheinungen das Nöthige über die Grenzen der Theilbarkeit lebender Substanz unschwer ableiten. Allein die Activität ist nicht die tiefste und wesentlichste Lebenserscheinung. Als solche werden wir vielmehr die Entwicklung, mit andern Worten Wachsthum, Organbildung und Reproduction ansehen müssen. Fragen wir, wie die letzten Elemente lebender Substanz beschaffen sind, welche noch die spezifischen gestaltgebenden Eigenschaften besitzen, so geben uns nach qualitativer Seite die ausgezeichneten Arbeiten Nussbaum's eine Antwort. Dieser Forscher fand bei Theilungsversuchen an einem Infusor, Gastrostyla, dass nur solche Stücke sich zu einem vollkommenen Thier zu regeneriren vermögen, welche Kernsubstanz enthalten. „Für die Erhaltung eines Infusoriums ist es gleichgültig, ob man es der Länge, der Quere nach oder in schrägen Richtungen zertheilt. Wenn nur dem Theilstück Kernsubstanz erhalten bleibt, so restituirt es, abhängig von der Temperatur, in höchstens 24 Stunden seine ursprüngliche Form. Schon nach 20 Minuten sind an den Schnitträndern neue Cilien gesprosst und am Tage nach der Ver-

stümmelung des Mutterthieres hat jedes der kernhaltigen Theilstücke wiederum vier bis sechs Nuclei und Nucleoli und alle die Art characterisirenden Wimperanhänge" [1]). Ein kernloses Stück „kann die der Art zukommende Leibesform nicht wieder ergänzen, ein Wachsthum findet nicht statt". Dagegen kann ein kernloses Stück Protoplasma, wie Nussbaum fand, sich für längere Zeit bewegen, für die „Activität" ist also Kernsubstanz nicht nöthig. Nussbaum zieht folgende Schlüsse aus seinen Versuchen: „1. Kern und Protoplasma sind nur vereint lebensfähig, beide sterben isolirt nach kürzerer oder längerer Zeit ab. 2. Zur Erhaltung der formgestaltenden Energie einer Zelle ist der Kern unentbehrlich. 3. Jede von der Zelle entfaltete Energie ist an ein theilbares Substrat geknüpft." Wenn ich Nussbaum richtig verstehe, so ist mit der letzteren Behauptung gemeint, dass schon ein Theil des Kerns oder des Protoplasmas genügt, um die Lebenserscheinungen der Zelle zu ermöglichen. Endlich mag auch noch folgendes Citat aus der Arbeit Nussbaum's hier aufgeführt werden: „Die Zelle ist nicht die letzte physiologische Einheit, wenn sie es auch für den Morphologen bleiben muss. Wie weit die Theilbarkeit einer Zelle gehe, und wie man sich theoretisch die Grenze konstruiren könne, vermögen wir nicht anzugeben. Doch wird man vorläufig gut thun, die in der Chemie und Physik wohldefinirten Begriffe von Atom und Molekel nicht auf die lebende Substanz zu übertragen. Aber auch der von Nägeli eingeführte Begriff der Micelle möchte wegen der in Kern und Protoplasma gleichzeitig wurzelnden Eigenschaften der lebenden Substanz auf Schwierigkeiten stossen." „Die Zelle stellt somit zu allen Zeiten ein Multiplum lebensfähiger Individuen dar, die bei den Protozoen stets gleichartig sind" (S. 522). Die Vorstellung, welche wir uns demnach über die Natur der kleinsten Elemente entwicklungsfähiger, lebender Substanz bilden müssen, ist die, dass sie ein System von mindestens zwei verschiedenen Substanzen sein müssen, von denen die eine nur im Kern, die andere nur im Protoplasma enthalten ist. Die Versuche von Nussbaum sind von einer grossen Zahl sorgfältiger Beobachter wiederholt und erweitert worden. Nussbaum's Beobachtungen und Schlüsse wurden meines Wissens in allen Stücken bestätigt.

---

1) Nussbaum, Ueber die Theilbarkeit der lebendigen Substanz I. Archiv f. mikroskop. Anatomie, Bd. 26, S. 514.

2) In all diesen Versuchen ist die Frage nach der Grenze der Theilbarkeit der lebendigen Substanz nicht zur Beantwortung gelangt. Es ist aber von besonderer Bedeutung, eine klare Vorstellung zu haben, von welcher Grössenordnung das letzte entwicklungsfähige Kern-Plasma-Element ist. Ist dasselbe von der Grössenordnung zweier oder weniger Micellen, oder ist es von der Grössenordnung eines beträchtlichen Bruchtheiles der Zelle? Ich habe versucht, über diesen Gegenstand beim Seeigelei nähere Aufschlüsse zu gewinnen. Pflüger hat schon bestimmt ausgesprochen, dass das Ei, welches bis dahin als eine Einheit angesehen worden war, vielen Individuen den Ursprung geben könne[1]). Die Versuche von Driesch, die wir sogleich erwähnen werden, ferner meine Versuche über die Hervorbringung zusammengewachsener Doppelt- und Mehrfachembryonen aus einem Ei, entsprechen beispielsweise ganz den Anschauungen Pflüger's. Es lag also nahe, zuzusehen, wie viele Embyronen aus einem Ei entstehen können, und auf diese Weise die Frage nach den Grenzen der Theilbarkeit für eine Art lebender Substanz zu entscheiden. Der einfachste Weg zu ermitteln, welcher Bruchtheil der Substanz eines Seeigeleies noch im Stande ist, sich zu einem normalen Ei zu entwickeln, scheint auf den ersten Blick der zu sein, dass man eine einzelne Zelle des Eies in den verschiedenen auf einander folgenden Furchungsstadien isolirt und zusieht, welches das letzte Stadium ist, auf welchem eine einzelne Zelle sich noch zu einem Pluteus zu entwickeln vermag. (Ueber das Pluteusstadium hinaus lassen sich die Eier im Aquarium im Allgemeinen nicht züchten). Diese Zellen werden um so kleiner, je weiter die Furchung vorschreitet und in je mehr Zellen das Ei zerfällt. Driesch hat in einem anderen Zusammenhange gezeigt, dass eine einzelne Zelle des Vierzellstadiums beim Seeigelei sich noch zu einem Pluteus zu entwickeln vermag[2]). Für unsere Zwecke können aber die Methode und Resultate von Driesch nicht ohne weiteres benutzt werden, da es doch zweifelhaft ist, ob eine einzelne Zelle des Acht- oder Sechszehnzellenstadiums ohne weiteres als identisch angesehen werden kann mit dem achten oder sechszehnten Theil der ungefurchten Eisubstanz. Es ist ja durchaus denkbar, dass mit der Furchung die Substanz des Eies in ungleichartiges

1) Pflüger's Archiv, Bd. 32, S. 562.

2) Driesch, Zeitschrift für wissensch. Zoologie, Bd. 55, S. 5 u. f.

Material zerlegt wird. Es ist ferner möglich, dass die Stoffwechselvorgänge während der Furchung das Material aller Furchungszellen qualitativ verändern. Das könnte z. B. zur Folge haben, dass eine einzelne Zelle im Achtzellenstadium nicht mehr im Stande wäre, sich zu einem vollkommenen Embryo zu entwickeln, während der achte Theil desselben Eies vor der Furchung noch im Stande gewesen wäre, einen ganzen Embryo zu bilden. Ich habe nun vor Kurzem in dieser Zeitschrift eine andere Methode mitgetheilt, welche gestattet, das ungefurchte, befruchtete Ei in kleine entwicklungsfähige Bruchstücke zu zerlegen [1]). Die Methode besteht darin, dass Seeigeleier nach der Befruchtung in Seewasser gebracht werden, das durch Zusatz von 100 % seines Volumens destillirten Wasser verdünnt ist. Der Eiinhalt nimmt rasch Wasser auf, und die dünne Membran des Eies platzt an einer oder zuweilen auch an mehreren Stellen. Aus diesen Rissen fliesst ein Theil des Protoplasmas aus, der Kugelform annimmt und meist zunächst mit dem übrigen Eiinhalt in Zusammenhang bleibt (Fig. 2). Wenn die Eier nun in normales Seewasser zurückgebracht werden, so beginnen sie sich zu furchen, das Extraovat sowohl wie das im Ei gebliebene Plasma, und nun entsteht entweder eine einzige Blastula, oder das Extraovat sowohl wie das im Ei gebliebene Plasma bilden besondere Furchungshöhlen; und es entstehen Zwillinge aus dem Ei. Dieselben können entweder zusammengewachsen bleiben oder sich nachträglich trennen. Das letztere ist die Regel. Es können aber nicht nur zwei, sondern auch mehr Protoplasmatropfen austreten, und man kann so mehr als zwei Embryonen aus einem Ei züchten. Es können endlich auch in Fällen, wo nur ein einziges Extraovat besteht, solche Zerklüftungen während der Furchung eintreten, dass mehr als 2 Embryonen aus einem Ei hervorgehen. Waren die Eier vor der Furchung zum Platzen gebracht worden, so ist nur ein Kern vorhanden, und es muss demnach der Eiinhalt oder das Extraovat kernlos sein. Ich habe nun schon in meinen früheren Mittheilungen erwähnt, dass im Verlauf der Furchung Kernmaterial in den ursprünglich kernfreien Theil des Protoplasmas gelangt. Zuweilen wird das Extraovat abgeschnürt, ehe Kerntheilung eintritt. Nichtsdestoweniger tritt Furchung ein. Nach den Beobachtungen

1) Pflüger's Archiv, Bd. 55 u. Biological Lectures delivered at Woods Hall 1893, Boston, Ginn a. Co.

der Gebrüder **Hertwig** und **Boveris** darf man annehmen, dass in diesen Fällen ein Spermatozoon in das Plasma eingetreten ist. Die damit eingeführte Kernsubstanz genügt zur Anregung der Furchungsvorgänge.

3. Bei diesen Versuchen ist es natürlich, dass das Extraovat im Allgemeinen nicht gerade die Hälfte der Masse des Eis enthält. Derartige Fälle nun, in denen Extraovat und Eiinhalt sehr verschiedene Grösse haben, sind geeignet zu entscheiden, wie gross das Quantum Eisubstanz ist, das eben noch ausreicht, einen normalen Pluteus hervorzubringen. Ich verfolgte die Entwicklung einzelner ausgewählter Eier mit Extraovat in einem in feuchter Kammer befindlichen Tropfen. Ferner untersuchte ich sorgfältig von Tag zu Tag den Inhalt der in grossen Gefässen gehaltenen Culturen solcher Eier und bestimmte hier sorgfältig die Grösse der kleinsten Plutei. Endlich verfolgte ich von Tag zu Tag die Schicksale der kleinen Bruchstücke. Das Resultat dieser Beobachtungen, welche ich im vorigen Jahr sowohl wie dieses Jahr während jedesmal nahezu zweier Monate unausgesetzt ausführte, war ein sehr bestimmtes und lässt sich wie folgt ausdrücken: 1) Die kleinsten normalen Plutei, welche aus Bruchstücken eines Eies hervorgingen, hatten linear ungefähr die halben Dimensionen des aus einem ganzen Ei hervorgegangenen Pluteus derselben Cultur; ihr Volumen oder — gleiche Dichtigkeit vorausgesetzt — ihre Masse war also etwa ein Achtel der eines normalen Pluteus. 2) Kleinere Bruchstücke entwickelten sich zur Blastula, traten dann etwas später als die aus ganzen Eiern gebildeten Larven ins Gastrulastadium. Es kam auch im günstigsten Falle zur regellosen Ablagerung von Kalknadeln, aber die zum Pluteusstadium führenden Aenderungen der äusseren Körperform traten nicht ein. Das Gebilde kam über die kuglige Körperform der Gastrula nicht hinaus und entwickelte sich nicht zum normalen Pluteus. Die kleinen Stücke lebten aber so lange wie die normalen Plutei und standen in Bezug auf Beweglichkeit und Lebenszähigkeit den normalen Embryonen vollkommen gleich.

4. Ich will nun auf diese Beobachtungen etwas genauer eingehen und dazu eine Reihe von Zeichnungen benutzen, die alle mit dem Zeichenprisma mit ungefähr gleicher Vergrösserung entworfen sind. Ist Fig. 1 die Form eines normalen befruchteten Eis mit Membran, so ist Fig. 2 die Form eines im verdünnten

Seewasser geborstenen Eis mit dem Extraovat *E*. Ueber die ersten Furchungsvorgänge eines solchen Eis habe ich früher schon be-

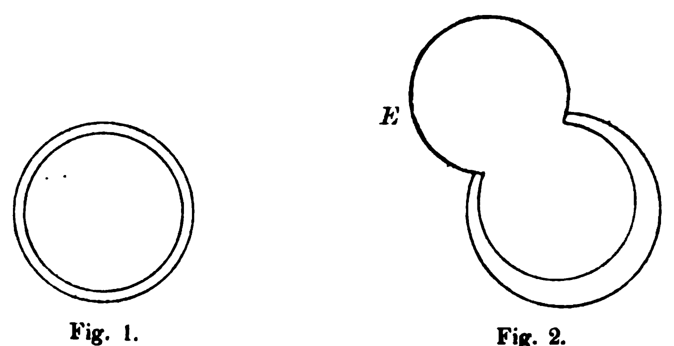


Fig. 1. Fig. 2.

richtet. Wir wollen nun die Entstehung mehrerer Embryonen aus einem solchen Ei verfolgen. Fig. 3 ist ein im 12 Zellstadium ge-

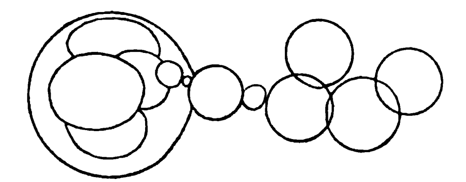


Fig. 3.

zeichnetes geborstenes Ei. Man sieht, dass die Mikromeren die Brücke bilden zwischen Extraovat und Ei. 4 Stunden später war dieses Ei in den in Fig. 4 dargestellten Zustand übergegangen. Die

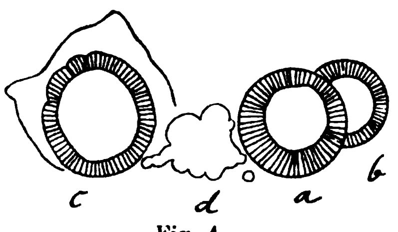


Fig. 4.

im Ei gelegenen Furchungszellen der Fig. 3 haben sich in die Blastula *c* verwandelt. Die Mikromeren und die von ihnen eingeschlossene grosse Zelle der Figur 3 haben in Fig. 4 einen unförmlichen Zellhaufen *d* gebildet. Je 2 der 4 grossen Zellen des Extraovats haben eine besondere Blastula *a* und *b* gebildet [1]), so

1) Es kommt oft vor, dass die Zellen des Extraovats nicht eine, sondern zwei und mehr Blastula formen. Das Gleiten der Zellen ist im Extra-

dass wir aus diesem einen Ei 3 Blastulae und einen formlosen Zellkomplex erhalten. Fig. 5 zeigt dasselbe Ei 24 Stunden später. Die grösste in der Eimembran gebliebene Blastula *c* hat sich in eine Gastrula verwandelt, die beiden ausserhalb des Eis gebliebenen kleinen Blastulae *a* und *b* sind nicht weiter entwickelt. Kurze Zeit nachdem diese Zeichnungen entworfen waren, begannen alle 4 Stücke in dem Tropfen herumzuschwimmen. Die Bildung der Blastula hielt in den kleineren Massen also gleichen Schritt mit der in der grösseren in der Eimembran gelegenen Masse; ich kann hinzufügen, dass sie auch gleichen Schritt hielt mit dem gleichen Vorgang in den Eiern mit unverletzter Membran. Freilich beobachtet man, dass Eier, welche in verdünntes Seewasser

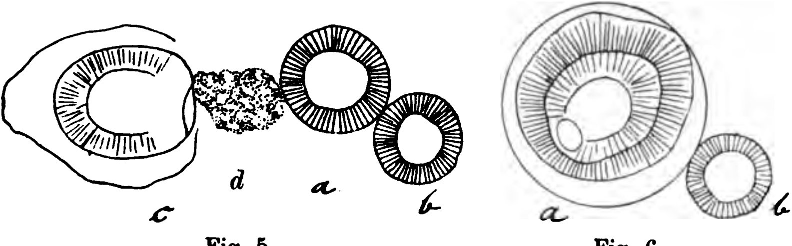


Fig. 5. Fig. 6.

gebracht werden und dadurch in „Wasserstarre" gerathen, nicht alle zu gleicher Zeit sich erholen und sich zu furchen beginnen, wenn sie in normales Seewasser zurückgebracht werden. Unter diesen Umständen kann auch gelegentlich ein Extraovat sich etwas später zu furchen beginnen. Dagegen ist der Einfluss der Masse des Eimaterials auf die Gastrulabildung ein zweifelloser. Das im Ei gebliebene Material hat sich in Fig. 5 also 24 Stunden nach der Befruchtung zur Gastrula entwickelt. Nach Fig. 3 ist seine Masse etwa zweimal so gross, wie die jeder der beiden Blastulae, die aus dem Extraovat entstehen und die sich um diese Zeit noch nicht zur Gastrula entwickelt haben. Dieselbe Thatsache habe ich immer und immer wieder bestätigt gefunden, z. B. in Fig. 6, wo das kleine Extraovat *b* eine Blastula, der Rest des Eis *a* eine

---

ovat unbehindert und kann so zu beliebigen Gruppirungen der Zellmassen führen. Innerhalb der Membran kommt eine solche Entstehung von Zwillingen auch vor, aber seltener. Die Membran beschränkt hier eben das Gleiten auf bestimmte Bahnen. Ich komme hierauf in einem Aufsatz über Zwillingsbildungen zurück.

Gastrula gebildet hat. Die in einem Tropfen befindlichen Culturen gingen immer im Laufe des zweiten oder dritten Tags zu Grunde. Die grossen Stücke gelangten während dieser Zeit ins Pluteusstadium, während die kleineren noch auf dem Blastula- resp. Gastrulastadium blieben. Um über das weitere Schicksal dieser kleinen Bruchstücke eines Eis Auskunft zu erhalten, müssen wir also die Methode der isolirten Züchtung verlassen und uns an die in grösseren Aquarien gehaltenen Culturen wenden. Fig. 7—11 stellen das Verhältniss zwischen Masse und Entwicklung in einer 2 Tage alten Cultur dar. Fig. 1 (S. 384) gibt die Grösse eines befruchteten 2 Tage alten aber unentwickelten Eis dieser Cultur, Fig. 7 die Grösse eines aus einem ganzen Ei entstandenen Pluteus, das aber genau dieselbe Behandlung mit verdünntem Seewasser durchgemacht hatte, wie die gleich zu erwähnenden Bruchstücke. Fig. 8 ist ein aus einem geborstenen Ei entstandener Doppeltembryo. Die beiden Embryonen sind an Masse ungleich und der grössere ist

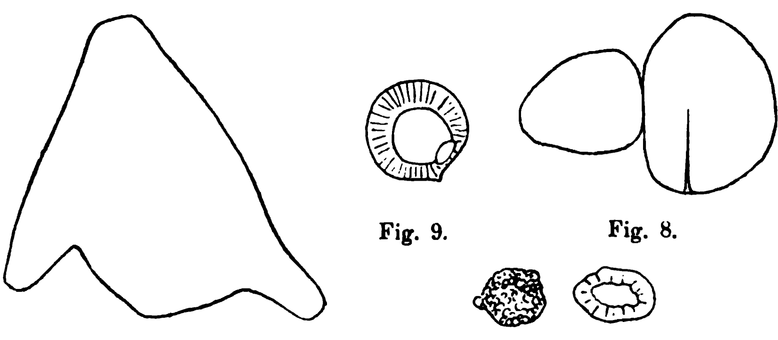


Fig. 7. Fig. 8. Fig. 9. Fig. 10. Fig. 11.

dem kleineren in der Entwicklung voranf, insofern als die Ablagerung der Kalknadeln hier beginnt. Beide sind aber weniger weit entwickelt als der aus einem ganzen Ei hervorgegangene Pluteus. Fig. 9 ist aus einem Stück Substanz hervorgegangen, das kleiner war als das halbe Ei der Fig. 1; es ist ein frühes Gastrulastadium. Fig. 10 und Fig. 11 sind noch kleinere Bruchtheile eines Eis, aber sie sind nur im Blastulastadium. Diese Beispiele sind nicht etwa ausgesucht, sondern sie repräsentiren nur das, was dem Beobachter in jeder beliebigen Probe einer solchen Cultur entgegentritt. Gehen nun weiter diese kleinen Bruchstücke ins Pluteusstadium? 2 Tage später fand ich die Zustände in dieser Cultur so wie sie in Fig. 12—15 zum Ausdruck

kommen. Fig. 12 ist eins der kleinsten um diese Zeit lebenden Fragmente, es ist nur eine Blastula. Fig. 13 stellt ein grösseres Bruchstück im Stadium der Gastrula dar, aber ohne Skelettbildung,

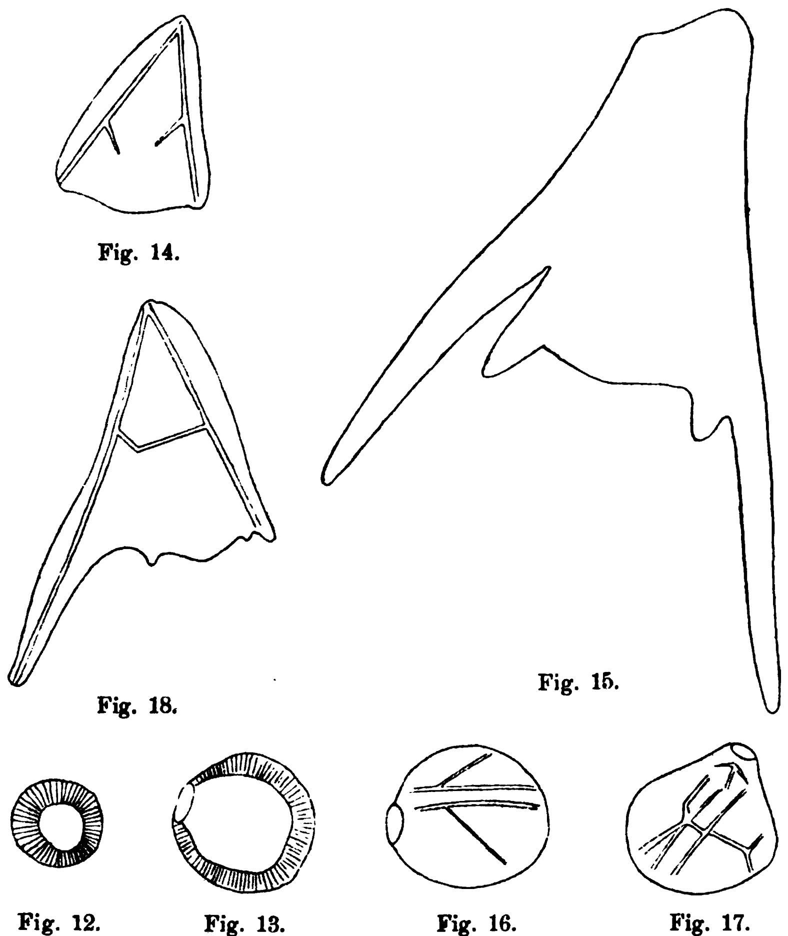


Fig. 14. Fig. 18. Fig. 15.

Fig. 12. Fig. 13. Fig. 16. Fig. 17.

Fig. 14 gibt den kleinsten Pluteus, Fig. 15 einen mittelgrossen Pluteus, der aus einem ganzen Ei entstanden ist. Vergleicht man die linearen Dimensionen beider Plutei, so findet man, dass sie ungefähr im Verhältniss von 1 : 2 stehen, was bei gleicher Dichtigkeit ein Massenverhältniss von 1 : 8 ergeben würde. Die kleineren Fragmente gehen nun im allgemeinen nicht mehr in ein normales Pluteusstadium, sondern sie bilden unregelmässige Kalknadeln, behalten aber die sphärische Form der jungen Gastrula bei. So sind beispielsweise Fig. 16 und 17 derartige 5 Tage alte Gastrulae

der besprochenen Cultur, Fig. 18 ist ein kleinster Pluteus desselben Alters. Diese Gastrulae mit Kalknadeln mögen nun wachsen, aber ihre äussere Form bleibt im Allgemeinen unverändert und das Skelett bleibt abnorm. — Endlich möge noch mit ein paar Worten des Schicksals solcher unförmlicher Zellhaufen gedacht werden, denen wir in Fig. 4 *d* begegneten. Ihre äussere Oberfläche bildet Wimpern, wie die normaler Embryonen, und wie die letzteren bewegen sie sich mit grosser Geschwindigkeit im Aquarium. Sie leben anscheinend eben so lange wie die Plutei. Diese Zellhaufen stellen freilebende Tumoren, Teratome dar, entstanden durch in unrichtigen Bahnen erfolgte Gleitbewegungen der Zellen. Das liefe auch auf einen „Error loci“ hinaus, aber freilich in anderem Sinne als die Tumorentheorie diesen Ausdruck gebraucht.

5. Wir sahen also, dass das Volumen des kleinsten normalgeformten Pluteus, der aus einem Bruchstück hervorging, etwa ein Achtel der Masse des normalen mittelgrossen Pluteus betrug, der aus einem ganzen Ei hervorging. Ich mag hinzufügen, dass ich überhaupt nie kleinere sonst normale Plutei beobachtete. In Bezug auf die Bestimmung der Grenzen der Theilbarkeit der Eisubstanz ist es nun wichtig zu entscheiden, ob ein solcher Pluteus in der That aus einem Bruchstück eines Eis hervorgeht, dessen Masse nur ein Achtel eines ganzen Eis betrug. Hierzu müssen wir wissen, ob die aus Bruchstücken eines Eis hervorgehenden Embryonen rascher wachsen als die aus einem ganzen Ei entstandenen. Es ist nun, wie ich vorhin erwähnte, die allgemeine Regel, dass die kleinsten Bruckstücke, nachdem sie das Blastulastadium erreicht haben, in der Entwicklung hinter den aus einem ganzen Ei sich bildenden Embryonen zurückbleiben. Bei meinen früheren Versuchen über Wachsthum und Regeneration bei Tubularia fand ich, dass Entwicklung und Wachsthum für die dort berücksichtigten Bedingungen Functionen derselben Variabelen sind; es kann ferner keinem Zweifel unterliegen, dass bis zu einem gewissen Grade Entwicklung eben nur eine Function des Wachsthums ist. Es ist deshalb wahrscheinlich, dass der aus einem kleinen Bruckstück entstehende Embryo langsamer wächst, als der aus einem ganzen Ei gebildete. Es ist deshalb auch weiterhin wahrscheinlich, dass ein Pluteus, dessen Masse nur ein Achtel der eines normalen Pluteus beträgt, sich aus einem Bruchstück eines Eies entwickelte, das wenigstens ein Achtel der Substanz eines

ganzen Eis enthielt. Die Behauptung, dass der achte Theil der Substanz eines Eis der kleinste Theil der Eisubstanz sei, der sich noch zu einem normal geformten Pluteus zu entwickeln vermag, zieht deshalb die Grenze eher zu weit als zu eng. Nun will ich aber die Möglichkeit, dass ein späterer Beobachter gelegentlich einen noch kleineren Pluteus finden wird, nicht in Abrede stellen, obwohl ich das nach der grossen Zahl meiner Beobachtungen für wenig wahrscheinlich halte. Aber ich glaube, dass auch in einem solchen Falle der eben angegebene Grenzwerth keine beträchtliche Reduction erfahren wird. In jedem Falle aber dürfen wir das Resultat als sicher ansehen, dass die Theilbarkeit des Eis eine sehr beschränkte ist, wenn man verlangt, dass das Bruchstück sich noch zu einem Pluteus entwickeln soll.

6. Dagegen ist es mir auf Grund meiner bisherigen Versuche noch nicht möglich anzugeben, wo die Grenze für die Theilbarkeit der Eisubstanz liegt, wenn man von einem Theilstück nur verlangt, dass es sich bis zur Blastula entwickeln soll. Die kleinsten Stücke isolirten Eiprotoplasmas theilten sich noch, wenn sie Kernsubstanz enthielten. Soweit ich sehen konnte entwickelten sich auch sehr kleine Stücke bis zur Blastula. Es ist jedenfalls hierdurch sichergestellt, dass die Theilbarkeit des Eis, wenn es sich nur um Entwicklung bis zur Blastula handelt, sehr viel weiter geht, als wenn Entwicklungsfähigkeit bis zum Pluteusstadium verlangt wird. Es erscheint mir aber auch nach meinen Beobachtungen wahrscheinlich, dass die Blastula eine gewisse Grösse erreicht haben muss, ehe sie im Stande ist sich in eine Gastrula umzuwandeln, so dass also die Grenzwerthe des zur Entwicklung bis zur Gastrula nöthigen Eimaterials wahrscheinlich wieder höher liegen als des für die Blastula nöthigen Materials.

7. Wir können hier beiläufig eine Frage entscheiden, die wir oben schon berührt haben, die aber allerdings nicht nothwendig zu unserem Thema gehört, nämlich ob durch die Furchungsvorgänge neben der blossen Zunahme der Zahl der Zellen oder Energiden auch noch eine so weit gehende qualitative Veränderung — Differenzirung — dieser Zellen stattfinde, dass dadurch die Theilbarkeit leide. Driesch konnte sich, wie erwähnt, noch davon überzeugen, dass eine isolirte Zelle des Vierzellenstadiums sich noch zu einem Pluteus zu entwickeln vermag, aber dasselbe gelang ihm, wie es scheint, nicht mit einer isolirten Zelle des

Achtzellenstadiums. Er bezog das ganz richtig auf die Substanzmenge. Andere aber waren geneigt daraus zu schliessen, dass eben bereits im Achtzellenstadium eine solche Differenzirung der einzelnen Zellen eingetreten sei, dass sie nur noch einzelne Gewebe, aber nicht mehr einen ganzen Embryo hervorzubringen im Stande seien. Nun ist es offenbar, dass wenn wir die nur auf die zuletzt erwähnte Thatsache basirbaren Speculationen über eine angebliche Differenzirung im Achtzellenstadium bei Seite lassen — die Grenze der Theilbarkeit der Eisubstanz in Driesch's Versuchen mit der in meinen Versuchen zusammenfällt. Wenn daher eine isolirte Zelle im Achtzellenstadium sich nicht mehr zu einem ganzen Embryo zu entwickeln vermag, so liegt das, wie aus meinen Versuchen hervorgeht, zunächst daran, dass die in einer Zelle dieses Stadiums enthaltene Substanzmenge zur Bildung eines Pluteus nicht mehr ausreicht. Nun könnte allerdings ausserdem auch noch eine Differenzirung der Zellen vorhanden sein. Ich habe nun Versuche angestellt, die zeigen, dass das nicht in einem solchen Maasse der Fall sein kann, dass dadurch die Entwicklungsfähigkeit beschränkt werde. Befruchtete Eier von Arbacia blieben zunächst in normalem Seewasser, bis zum 8-, 16-, oder 32-Zellstadium. Wenn dann die Eier in hinreichend verdünntes Seewasser gebracht wurden, so platzte die Membran und ein Theil des Eiinhaltes floss aus, wie im ungefurchten Ei, nur mit dem Unterschiede, dass in diesem Falle das Extraovat aus einer grösseren Zahl von Zellen bestand. Dennoch trat genau das gleiche ein, wie bei Eiern, die vor der Furchung zum Bersten gebracht worden waren. Waren die abgeschnürten Stücke hinreichend gross, grösser als $^1/_8$ der ganzen Eisubstanz, so entwickelten sie sich zu einem Pluteus, waren sie kleiner so gingen sie nur ins Gastrula- und Blastulastadium. Wäre nun in der That bereits im Achtzellenstadium eine solche Differenzirung der einzelnen Zellen vorhanden, dass jede nur bestimmten Geweben, Organen oder Körperregionen den Ursprung geben könnte, so müssten wir erwarten, dass wenn wir etwa 8 Zellen eines im 32 Zellenstadium befindlichen Eis abtrennen, wir ein ungeordnetes Conglomerat verschiedener Gewebefetzen, Organe etc. erhalten, was aber eben nicht der Fall ist. — Es kann auch die Erscheinung eintreten, die ich eben bei ungefurchten Eiern erwähnte, dass die Zellen bei ihrem Gleiten sich so verlagern, dass sie nicht zu einer Blastula zusammenschliessen,

das geschieht aber hier nicht öfter als bei Eiern, die vor der Furchung gesprengt werden. Es gibt aber noch eine andere Methode festzustellen, dass im Eiinhalt während der ersten Furchungsvorgänge keine tiefgreifenden physiologischen Aenderungen stattfinden, wenn wir nämlich die Reactionen des Embryo auf äussere Eingriffe prüfen. Ich habe derartige Versuche an Fischeiern ausgeführt[1]). Sie ergaben, dass bei Bildung des Embryo eine sprungweise Aenderung der Reaction gegen Wasserentziehung eintrat, dass aber während der ersten Furchungsstadien keine derartige

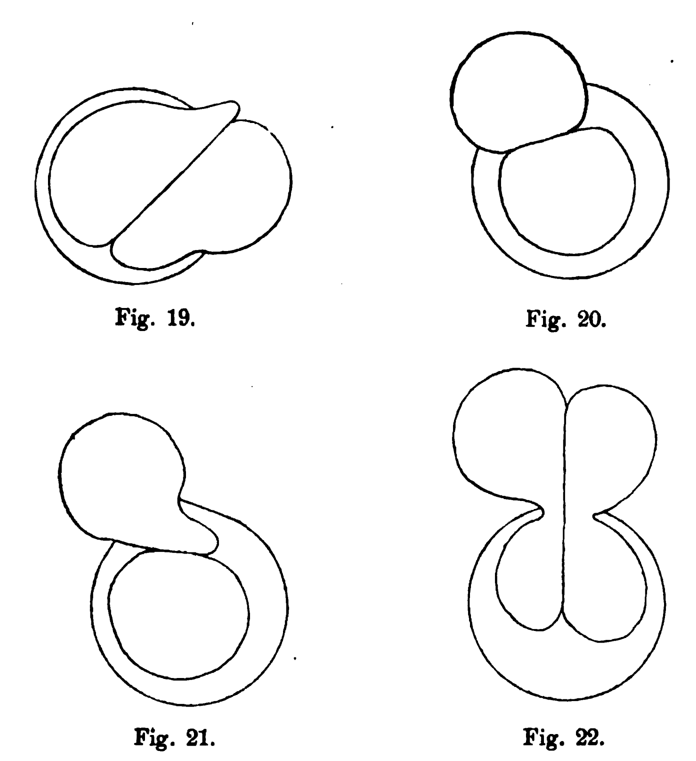


Fig. 19. Fig. 20.

Fig. 21. Fig. 22.

Aenderung nachweisbar ist. Derartige Aenderungen der Reactionen müssten aber jede tiefgreifende Differenzirung begleiten. Dasselbe negative Resultat würde man auch voraussichtlich in den ersten Entwicklungsstadien des Seeigeleis erhalten.

8) Nach dieser Abschweifung wollen wir zum Hauptgegenstand

1) Ueber die relative Empfindlichkeit von Fischembryonen gegen Sauerstoffmangel und Wasserentziehung etc. Pflüger's Archiv, Bd. 55.

zurückkehren und die Frage aufwerfen, ob es für das Gesagte einen Unterschied mache, welches Stück Protoplasma wir aus dem Ei herausschneiden. Es könnte ja sein, dass das Ei nicht völlig isotrop sei. Das Protoplasma beginnt immer sofort an der Stelle aus dem Ei auszufliessen, wo die Membran reisst. Es lässt sich aber leicht zeigen, dass die Einrissstelle an jeder beliebigen Stelle der Membran liegen kann und keine Beziehung hat zu der Orientirung der ersten Furchungsebene. Wenn wir nämlich die Eier erst in normalem Seewasser sich bis zum Zweizellenstadium entwickeln lassen, bevor wir sie in verdünntes Seewasser bringen, so können wir bemerken, dass die erste Furchungsebene jede beliebige Lage zur Einreissstelle haben kann. Dementsprechend fliesst auch das Material aus. Fig. 19—22 sind Zeichnungen von Eiern, deren Membran im Zweizellenstadium zum Bersten gebracht wurde und welche das Gesagte besser als viele Worte veranschaulichen. Da nun in allen Fällen das Extraovat sich entwickelt, wenn es nur gross genug ist, so müssen wir schliessen, dass sicher, soweit die Frage der Theilbarkeit in Betracht kommt, das Protoplasma als eine isotrope Masse anzusehen ist.

9) Welche Vorstellungen ergeben sich nun daraus über die Natur der kleinsten Elemente entwicklungsfähiger lebender Substanz? Wie schon Nussbaum auseinandersetzte, ist jeder Versuch als solche letzte Elemente lebender Substanz etwas dem Atom und Molekül Analoges anzunehmen, verfehlt, aus dem einfachen Grunde, weil eben zwei verschiedene Substanzen Kern und Protoplasma nöthig sind. Man könnte nun annehmen, dass etwa eine Combination von 2 verschiedenartigen Micellen, eine aus Kernsubstanz, die andere aus Protoplasma das kleinste lebende Element repräsentire. Unsere Versuche zeigen, dass eine solche Vorstellung durchaus falsch wäre, wenn man volle Entwicklungsfähigkeit als Kriterium der lebenden Substanz ansieht. Wir finden vielmehr, dass ein ganz beträchtliches Quantum Substanz nöthig ist — ein Quantum, das beiläufig in unserem Falle nicht weit von der Grenze makroskopischer Sichtbarkeit liegt. Ich habe schon früher betont, dass schon aus geometrischen Gründen eine bestimmte Menge Substanz vorhanden sein muss, ehe es möglich ist, einen Pluteus zu formen. Allein die thatsächlich gefundene Grenze ist ausserordentlich viel früher erreicht, als die geometrisch zu fordernde. Da nun feststeht, dass die letzte Quelle der für alle Lebenser-

scheinungen nöthigen Energie chemischer Natur ist, so müssen wir aus unseren Versuchen nothwendigerweise den Schluss ziehen, dass die letzte Einheit lebender Substanz ein solches Quantum Substanz ist, das eine bestimmte (für die als Kriterium benutzte Lebenserscheinung nöthige) Menge Energie zu entwickeln im Stande ist. So erklärt sich ungezwungen, warum die Substanzmenge des Eis, welche nöthig ist, um einen Pluteus zu bilden, erheblich grösser sein muss, als die Substanzmenge, welche ausreicht für die Bildung einer Blastula, da ja eine grössere Menge Substanz auch eine grössere Menge Energie repräsentirt. Daraus aber folgt ferner, dass wenn man sich mit der Forderung der Spontaneität und der Reizbarkeit als Kriterium der lebenden Substanz begnügt, die letzte Einheit derselben nicht nur quantitativ viel kleiner, sondern auch qualitativ verschieden ausfällt, da ja eins der beiden Elemente Kern und Plasma, nämlich das letztere hierzu allein ausreicht. Allein es handelt sich bei diesen letzten Einheiten auch nicht bloss um Massen, die ein bestimmtes Quantum von chemischer Energie schlechthin repräsentiren, sondern wir haben allen Grund anzunehmen, dass die Art des Freiwerdens dieser Energie an ein ganz bestimmtes Schema geknüpft ist, das für alle Lebensvorgänge möglicherweise das gleiche ist. Unsere weitere Einsicht in die Natur der letzten Elemente wird demnach von einer sicheren Kenntniss dieses Schemas oder dieser Schemata abhängen.

Diese Bedeutung der Quantität lebender Substanz als Träger einer bestimmten Menge von Energie tritt auch hervor in dem Falle der Regeneration der mehrzelligen Thiere. Nach den Untersuchungen von Nussbaum ist beispielsweise zur Regeneration einer fortpflanzungsfähigen Hydra „mindestens eine Ectoderm — eine Entodermzelle und eine Zelle des intermediären Keimlagers" nöthig [1]). Allein dieses Minimum gibt nur die Grenze nach der qualitativen Seite, insofern als die erwähnten drei qualitativ verschiedenen Elemente nöthig sind. In Bezug auf die Quantität ist zu bemerken, dass ein ganz erhebliches Multiplum solcher Elemente zur Regeneration nöthig ist. Bei Versuchen an Tubularia, welche Miss Bickford vor 2 Jahren in meinem Laboratorium angestellt hat, und welche demnächst im Journal of Morphology erscheinen werden, ergab sich, dass schon Stücke aus dem Stamme

1) Die Umstülpung der Polypen, Arch. f. mikr. Anat., Bd. 35, 1890.

dieses Hydroidpolypen von etwa 1 mm Länge nicht mehr im Stande sind zu einer g a n z e n Tubularia zu regeneriren. Es bildet sich entweder nur ein einfacher Polyp ohne Stamm und Wurzel, oder eine eigenthümliche Heteromorphose, eine Art Januskopf, nämlich 2 Polypen, welche mit dem aboralen Ende mit einander verschmolzen sind, während Stamm und Wurzel zwischen beiden fehlt.

Dass das kleinste Quantum entwicklungsfähiger Substanz eine verschiedene absolute Grösse bei verschiedenen Organismen besitzen muss, dass es beispielsweise kleiner sein muss für einen Coccus als für ein Arbaciaei bedarf kaum einer besonderen Erwähnung.

10) Die Resultate unserer Untersuchung sind also in Kürze die folgenden:

a) Wenn wir den Begriff „lebende Substanz“ durch eine physiologische Leistung definiren, so ist das kleinste Quantum lebender Substanz eine solche Substanzmenge, welche u. a. das zu jener Leistung nöthige Quantum Energie zu entwickeln vermag. Diese Substanzmenge muss aus diesem Grunde für verschiedene physiologische Leistungen verschieden sein.

b) Die zur Bildung eines Pluteus nöthige kleinste Substanzmenge des ungefurchten Eies von Arbacia beträgt ungefähr ein Achtel der Substanz des ganzen Eies (Kern plus Plasma).

c) Die zur Bildung einer Blastula nöthige Substanzmenge ist erheblich kleiner als die zur Pluteusbildung nöthige Menge; zur Bildung der Gastrula ist wahrscheinlich mehr Substanz nöthig als zur Blastulabildung.

d) Es macht keinen Unterschied, welche Lage die einzelnen Protoplasmapartieen eines zertrümmerten Eies in dem letztern hatten; in Bezug auf die Theilbarkeit kann das Protoplasma des Arbaciaeies sicher als isotrop angesehen werden.

e) Da die Grenzen der Theilbarkeit nahezu dieselben sind beim ungefurchten Ei wie in den ersten Furchungsstadien (das 32 Zellstadium einbegriffen), so können α) während der Furchung bis zum 32 Zellstadium keine die Organbildung beschränkenden qualitativen Aenderungen (Differenzirungsvorgänge) stattfinden und müssen β) die einzelnen Furchungszellen, soweit die Grenze der Theilbarkeit der Eisubstanz in Betracht kommt, als gleichartig angesehen werden. (In anderer Hinsicht könnten dagegen recht wohl oder müssen vielleicht Verschiedenheiten zwischen den einzelnen Furchungszellen bestehen.)

(Aus dem physiologischen Institut zu Würzburg.)

Ueber die Summation der Wirkung von Entlastung und Reiz im Muskel.

Zweite Abhandlung.

Von

Dr. **Fr. Schenck.**

Wird die Belastung eines Muskels im Beginne der Zuckung um einen bestimmten Werth vermindert, so ist das erreichte Contractionsmaximum nicht so gross, wie bei einer isotonischen Zuckung, bei der die Last schon vor der Erregung klein ist. Es addiren sich also die Entlastungsverkürzung und die Thätigkeitsverkürzung in diesem Falle nicht algebraisch.

Die Erklärung dieser von von Kries[1]) beobachteten Erscheinung hat zu einer Controverse zwischen ihm und mir geführt.

von Kries nimmt an, dass Entlastungs- und Thätigkeitsverkürzung nicht zwei verschiedene Vorgänge, sondern identisch sind. Da die Verkürzungsgeschwindigkeit eine beschränkte sein soll, so kann eine Summation der Wirkung von Entlastung und Reiz nur soweit stattfinden, bis die maximale Verkürzungsgeschwindigkeit erreicht ist. Geben die einzelnen Wirkungen von Entlastung und Reiz zu einander addirt eine grössere Geschwindigkeit als die maximale, so geht der Ueberschuss unausgenützt verloren.

Die Umkehr dieses Satzes sagt aus, dass Spannungsvermehrung den Contractionsprocess hemmt.

Ich[2]) habe dagegen angenommen, dass die geringere Verkürzung verursacht ist durch eine Beschleunigung des Erschlaffungsprocesses, und zwar, weil ich auf Grund anderer Beobachtungen und im Einklang mit den myothermischen Gesetzen annehmen zu

---

1) Du Bois-Reymond's Archiv. 1880. S. 348 und 1892. S. 1.

2) Dies Archiv Bd. 50. S. 166 u. Bd. 53. S. 394.

müssen glaubte, dass die grosse Spannung im Beginn der Entlastungszuckung den Verkürzungsprozess verstärkt und verlängert. Diese Annahme macht den Satz von Kries', dass Entlastungs- und Thätigkeitsverkürzung identisch sind, überflüssig.

Nun bieten neuere Beobachtungen von mir und Freisfeld[1]) Anhaltspunkte, um meine Auffassung auf ihre Richtigkeit hin zu prüfen. Wir haben gefunden, dass der hemmende Einfluss der Spannung auf die Verkürzung um so undeutlicher wird, je mehr der Muskel ermüdet ist, ja dass er beim ermüdeten Muskel durch den fördernden Einfluss verdeckt werden kann. Dieser Fund macht meine Annahme sehr plausibel, weil es ja zweifellos sein dürfte, dass gerade der Erschlaffungsprocess durch die Ermüdung in besonderem Grade verändert wird. Durch die Hypothese von Kries' wird dagegen unsere Beobachtung nicht verständlich gemacht.

Es ergibt sich nun die Aufgabe, zu untersuchen, ob auch die Hemmung der Verkürzung in den Entlastungszuckungen beim ermüdeten Muskel nicht mehr zu beobachten ist.

In den Versuchen, die ich zu diesem Zwecke anstellte, wurde die Entlastung im Beginn der Verkürzung gerade so vorgenommen, wie in meinen früheren Versuchen, nämlich durch Oeffnen eines Stromkreises, wonach das electromagnetisch festgehaltene Gewicht abfiel. Betreffs des Weiteren kann auf das früher Gesagte[2]) verwiesen werden. Das Präparat — Froschsemimembranosus und gracilis von beiden Seiten — wurde in seiner ganzen Länge aufgehangen.

Es wurde nun jedesmal zunächst eine Entlastungszuckung und eine isotonische bei kleiner Last registrirt, dann der Muskel durch eine Reihe von Zuckungen, die nicht aufgezeichnet wurden, ermüdet, dann wieder einige Entlastungszuckungen und isotonische registrirt, dann weiter ermüdet u. s. w.

Die Resultate einer Reihe solcher Versuche gebe ich in der folgenden Tabelle wieder. Es bedeutet Hi die Hubhöhe der isotonischen Zuckung bei geringer Last in mm gemessen, He die Erhebung des Gipfels der Entlastungszuckung über der Abscissenaxe der isotonischen. In jeder Serie ist der grösste Werth für den Quotienten $\frac{He}{Hi}$ durch fetten Druck hervorgehoben.

1) Dies Archiv Bd. 57. S. 606.

2) Dies Archiv Bd. 58. S. 398.

	Hi	He	$\frac{He}{Hi}$
	1. Präparat		
1.	32	27	0,84
2.	24	20	0,83
3.	18	18	**1,00**
4.	14,5	13	0,90
	2. Präparat		
1.	36,5	29,5	0,81
2.	27,5	25,5	0,93
3.	18,8	19,0	1,01
4.	12,0	14,5	**1,21**
	3. Präparat		
1.	33,0	30	0,91
2.	32,0	30	**0,94**
3.	18,5	17	0,92
	4. Präparat		
1.	30	23	0,77
2.	23	18	**0,78**
3.	16	12	0,77
	5. Präparat		
1.	42	28	0,67
2.	21	15,5	0,74
3.	10	8,5	**0,85**
	6. Präparat		
1.	28,5	25,0	0,83
2.	17,5	14,5	**0,88**
3.	5,0	4,0	0,80

Was lehren nun diese Versuchsresultate?

Der Quotient $\frac{He}{Hi}$ hätte nach meiner Auffassung sich mit zunehmender Ermüdung der 1 näheren, dieselbe vielleicht sogar bei gewissem Grade der Ermüdung übertreffen müssen, um danach bei grosser Ermüdung wieder auf 1 zurückzusinken. Wir sehen aber, dass nur in einem Fall 1 überschritten, in einem anderen erreicht wird, sonst ist $\frac{He}{Hi}$ immer kleiner als 1. Folglich reicht meine Deutung nicht aus.

Sollen wir nun deshalb meine Annahme fallen lassen, und die von von Kries gegebene Erklärung wieder gelten lassen? Nun, es sei zunächst darauf aufmerksam gemacht, dass die Bedenken, die gegen von Kries erhoben werden können, durch unsere neuen Beobachtungen nicht beseitigt sind. Und ander-

seits darf nicht ausser Acht gelassen werden, dass meine Annahme durch eine grosse Zahl anderer Erscheinungen sehr gestützt wird. Wir werden daher fragen, ob wir einen Ausweg finden können, ohne meine Annahme preiszugeben. Das ist in der That möglich.

Es ist bisher eins von uns übersehen worden, das beim Zustandekommen der Erscheinung wesentlich betheiligt sein muss. Das ist die Thatsache, dass der Vorgang der Entlastungsverkürzung im Moment der höchsten Erhebung der Entlastungszuckungscurve noch nicht beendigt ist. Zwar folgt auf die Entlastung zunächst eine rasch ablaufende Längenabnahme, aber gleich nach der Entlastung ist der Muskel noch nicht soweit verkürzt, als einige Zeit nachher. Die Länge nimmt in Folge der elastischen Nachwirkung langsam weiter ab. Dass nun in Folge der grösseren Länge bei der Entlastungszuckung das erreichte Zuckungsmaximum tiefer liegen kann, als bei der isotonischen, ist klar.

Es ist jüngst von Blix[1]) darauf aufmerksam gemacht worden, dass die Ausgangslänge bei der Erklärung der Versuche über den Einfluss der Spannung auf den Ablauf des Contractionsprocesses nicht gebührend berücksichtigt worden ist. Die Versuche, die Blix zu Anfang seiner Abhandlung beschreibt, lassen auch keinen Zweifel, dass er darin Recht hat. Allerdings geht er wohl zu weit, wenn er nun jeden Einfluss der Spannung auf den physiologischen Contractionsact leugnet, und alle bisher darauf zurückgeführten Erscheinungen nur durch Verschiedenheiten im Verlaufe der secundären elastischen Vorgänge und durch verschieden grosse Betheiligung der nicht contractilen elastischen Theile des Muskels an der Contraction bedingt hält.

Die Verschiedenheit der Ausgangslängen macht schon in dem in Rede stehenden Falle nicht allein alle Beobachtungen verständlich aus folgendem Grunde:

Wäre die fragliche Erscheinung nur durch die Verschiedenheit der Ausgangslängen bedingt, dann müsste die Differenz ($Hi - He$) bei fortschreitender Ermüdung immer gleich bleiben, mithin aber $\frac{He}{Hi}$ immer kleiner werden, weil Hi auch immer weiter abnimmt. Denn die elastische Nachschrumpfung ist in der kurzen Zeit, die der Differenz der Gipfelzeiten bei verschiedenen Graden von Er-

1) Skandinavisches Archiv Bd. V. S. 152.

müdung entspricht, von so verschwindend kleinem Betrage, dass dadurch nicht ein wesentlich kleineres (*Hi*—*He*) bei grösserer Ermüdung bedingt sein kann. Der Quotient $\frac{He}{Hi}$ nimmt aber nicht stetig ab, sondern in allen Fällen wenigstens zunächst sogar zu, so dass er in einigen Fällen gleich oder grösser als 1 wird.

Es muss demnach ausser der Verschiedenheit der Ausgangslängen noch ein anderer Factor wirksam gewesen sein, der den Quotienten $\frac{He}{Hi}$ mit zunehmender Ermüdung zu vergrössern sucht. Das ist nun aber gerade der Factor, den wir nach meiner Annahme finden mussten: wir vermuthen ihn in der Beschleunigung der Erschlaffung, die mit zunehmender Ermüdung geringer wird, und dann sogar übertroffen werden kann durch die Verstärkung des Verkürzungsprocesses.

Bei stark ermüdetem Muskel fällt der Einfluss der Spannung auf den Verkürzungs- und Erschlaffungsprocess aber ganz weg. Hier würde also die Verschiedenheit der Ausgangslänge allein in Betracht kommen; hier müsste also nach dem vorhin Gesagten eine Abnahme von $\frac{He}{Hi}$ eintreten. Thatsächlich folgt auch in mehreren Versuchen auf die anfängliche Zunahme von $\frac{He}{Hi}$ später eine Abnahme.

Uebrigens bieten die bei stark ermüdetem Muskel erhaltenen Zahlen auch ein Kriterium für die Frage, ob den Ausgangslängen die Bedeutung zukommt, die wir ihnen zugeschrieben haben. Die Differenz *Hi*—*He* muss nämlich hier etwa gleich der Differenz der Ausgangslängen sein. Die Differenz *Hi*—*He* beträgt in den Versuchen bei grösster Ermüdung im Mittel 12 mm. Die Differenz der Ausgangslängen wurde einigemale bestimmt durch Versuche mit Entlastung ohne Reizung. Es ergab sich für die dem Zuckungsmaximum entsprechende Zeit eine solche von 1,5—2,5 mm. Dass die Differenz der Ausgangslängen um ein Weniges grösser als die Differenz *Hi*—*He* erscheint, ist erklärlich, weil durch die Zuckung die elastische Nachschrumpfung etwas beschleunigt wird, mithin hier die Differenz der Ausgangslängen etwas kleiner zu setzen sein wird, als in derselben Zeit beim ungereizten Muskel.

Da übrigens die Differenz *Hi*—*He* beim unermüdeten Muskel

durchschnittlich bedeutend grösser ist, als die Differenz der Ausgangslängen, so geht auch daraus hervor, dass das fragliche Phänomen beim unermüdeten Muskel auf die Verschiedenheit der Ausgangslängen allein nicht zurückgeführt werden kann, sondern dass noch ausserdem eine Hemmung der Verkürzung im Spiel ist, die um so geringer wird, je grösser die Ermüdung. In diesem Punkte entsprechen also unsere Beobachtungen doch dem, was nach meiner Annahme zu erwarten war.

Wir kommen demnach in unserem Falle mit der Hypothese Blix nicht aus. Es giebt aber noch andere Thatsachen, die derselben widersprechen.

Blix führt, wenn ich seine oft wenig klaren Auseinandersetzungen richtig verstanden habe, die Veränderungen des Zuckungsverlaufs, die in Folge von Spannungsänderungen während der Zuckung zu beobachten sind, auf mechanische Vorgänge in den inactiven Theilen des Muskels zurück. Verschiedenheiten in der Mitwirkung elastischer Kräfte der inactiven Theile und verschieden grosse Nachschrumpfungen sollen die Unterschiede des Zuckungsverlaufs bedingen. Die Nachschrumpfungen spielen nicht blos bei den Gestaltveränderungen des Muskels nach Entlastung eine Rolle, sondern betheiligen sich auch an der Contraction als Folge der durch den physiologischen Contractionsact bedingten Gestaltveränderung.

Blix hat sich die Begründung seiner Ansicht sehr leicht gemacht. Er beschreibt einige Beobachtungen, die sich allenfalls nach seiner Auffassung erklären lassen. Was man aber bei ihm ganz vermisst, ist der Nachweis, dass alle Thatsachen, auf die man bisher die Annahme der Abhängigkeit des physiologischen Contractionsactes von der Spannung gegründet hat, auch ohne letztere Annahme zu deuten sind.

Man kennt zwei verschiedene Aenderungen des Zuckungsverlaufs durch die Spannung:

1. eine Verstärkung und längere Dauer der Verkürzung, die z. B. in den Zuckungen mit Anfangshemmungen bei von Kries[1]), in den Schleuderzuckungen bei Sogalla[2]), in den von mir be-

1) a. a. O.

2) Dissertat. Würzburg 1889.

schriebenen Anschlagzuckungen[1]) des kalten Muskels zu beobachten ist. Diese Erscheinungen sind nicht zu erklären aus der Annahme von Blix, denn nach Blix kann die Spannungszunahme in diesen Fällen auf die Verkürzung keine andere Wirkung haben, als eine hemmende, die bewirkt wird durch geringere Nachschrumpfung;

2. eine Hemmung und geringere Dauer der Verkürzung. Von den vielen Beobachtungen, die das beweisen, will ich hier nur die der Anschlagzuckungen des warmen Muskels[1]) erwähnen, weil ich an diese die folgenden Betrachtungen anknüpfen will.

Auch hier kann im Sinne von Blix nur an die Hemmung der Nachschrumpfung gedacht werden. Denn die elastischen Kräfte inactiver Theile, die an der Contraction betheiligt sein könnten, sind in den isotonischen und Anschlagzuckungen gleich.

Aus den Curven der Anschlagzuckungen des warmen Muskels lässt sich nun durch eine einfache Betrachtung entnehmen, wie gross der Antheil der Nachschrumpfung, wie gross der der contractilen Kräfte an der Verkürzung sein muss, unter der Voraussetzung, dass Blix' Ansicht richtig ist. Ich verweise auf die Curve Figur 3a meiner Abhandlung in diesem Archive Bd. 57 S. 611. Es finden sich am Ende der Curven erhebliche Schleuderungen des Zeichenhebels; dieselben lassen sich aber durch graphische Interpolation eliminiren. In Folge dessen muss wohl auch der Gipfel der isotonischen Zuckung niedriger gesetzt werden, als er in der Curve erscheint. Um die Hubhöhe sicher nicht zu hoch anzunehmen, wollen wir sie nur gleich $^2/_3$ der in der Curve erhaltenen setzen; dann ist sie immerhin noch doppelt so gross, als die Höhe des Anschlags über der Abscissenachse. Die Gipfelzeit der so corrigirten Curve der isotonischen Zuckung wird ungefähr zusammenfallen mit dem Zeitpunct, in dem bei der Anschlagzuckung der Zeichner vom Anschlag aus nach abwärts sich zu bewegen beginnt.

Wenn nun durch den Anschlag der Verlauf der durch die contractilen Kräfte allein bedingten Verkürzung nicht geändert sein soll, dann ist in der isotonischen Zuckung zunächst einmal der ganze Betrag der Verkürzung von der Anschlaghöhe bis zum Gipfel nur auf Rechnung der Nachschrumpfung zu setzen. Das ist

---

1) Dies Archiv Bd. 55. S. 626. Bd. 57. S. 606.

also in unserer corrigirt gedachten Figur die Hälfte der ganzen Verkürzung. Nennen wir diesen Betrag a. Aber auf Rechnung der Nachschrumpfung ist noch mehr zu setzen: auch bei der Anschlagzuckung muss die Nachschrumpfung betheiligt sein, weil hier der Muskel sich ja auch verkürzt und zwar halb mal so viel als in der isotonischen Zuckung. Demnach dürfen wir annehmen, dass bei der Anschlagzuckung allein ungefähr halb mal so viel Nachschrumpfung an der Contraction betheiligt ist, als bei der freien isotonischen Zuckung. Nennen wir den gesuchten Betrag der Nachschrumpfung in der ganzen isotonischen Zuckung x, so ist

$$x = a + \frac{x}{2} \text{ oder } x = 2a.$$

Das heisst mit Worten: Wenn Blix recht hat, so ist die Verkürzung im Moment der Gipfelzeit der isotonischen Zuckung nur durch die Nachschrumpfung bedingt, contractile Kräfte wirken in diesem Moment nicht im Muskel. Das wird er doch wohl selbst nicht glauben.

Diese Betrachtung ergiebt indirect den Beweis, dass auch die Hemmung der Verkürzung durch die Spannung auf einer Aenderung des physiologischen Contractionsactes beruht.

Es fehlt bis jetzt jeder Grund, die alte Lehre von dem Einfluss der Spannung auf den Contractionsprocess preiszugeben.

Ueber angebliche Blaublindheit der Fovea centralis.

Von

Ewald Hering,
Professor an der deutschen Universität Prag.

Im dritten Abschnitte einer Abhandlung „über den menschlichen Sehpurpur und seine Bedeutung für das Sehen“[1]) behauptet Arthur König, „dass die Fovea blaublind ist“. „Es haben also“, wie er sagt, „trichromatische Personen hier ein dichromatisches, und dichromatische ein monochromatisches Farbensystem[2]).“ Die Grösse des blaublinden Bezirkes entspricht nach König einem Gesichtswinkel von 55 bis 70 Winkelminuten. Auf einem 30 cm vom Knotenpunkte des Auges entfernten Gesichtsfelde müsste hiernach in einem Felde von 5 bis 6 mm Durchmesser, dessen Mittelpunkt von der Gesichtslinie getroffen wird, alles Blaue als solches unkenntlich sein.

Da das tägliche Leben Jedem, der darnach sucht, Gelegenheit giebt, durch Betrachtung hinreichend kleiner farbiger Objecte den Farbensinn seiner Fovea zu prüfen und sich von deren vortrefflichem Blausinn zu überzeugen, so läge für mich keine Veranlassung vor, die offenbar irrige Behauptung König's hier zu besprechen, wenn ich nicht dabei Gelegenheit hätte, die Unzuverlässigkeit der König'schen Farbengleichungen an einem relativ einfachen und zugleich schlagenden Beispiele darzulegen. Die meisten physiologischen Speculationen König's aber gründen sich auf seine Farbengleichungen.

Dass die Fovea blaublind sei, sucht König zuerst damit zu beweisen, „dass an einer Reihe von monochromatisch leuchten-

---

1) Sitzungsber. d. Berliner Akad. vom 21. Juni 1894.

2) Unter trichromatischen Personen versteht König die Farbentüchtigen, unter dichromatischen die partiell, und unter monochromatischen die total Farbenblinden.

den blauen Punkten, deren Bild man quer durch die Fovea legt, bei geeigneter Intensität die auf die Fovea fallenden verschwinden", und dass es ihm „nach längerer Uebung gelingt, den Mond in der Fovea verschwinden zu lassen", wenn er „ein nur blaue Strahlen durchlassendes Glas"[1]) vor sein Auge hält.

Richtet man das einige Zeit geschlossen oder ganz verdunkelt gewesene Auge auf eine von schwachem blauen Lichte beleuchtete Fläche, so sieht man bekanntlich den Maxwell'schen Fleck besonders deutlich u. zw. je nach den Umständen dunkelblau oder auch fast schwarz. Donders drückte dies dadurch aus, dass er sagte, man habe unter solchen Umständen ein centrales „Skotom". Unter den von König benützten Versuchsbedingungen kommen die erwähnten, objectiv nur schwach leuchtenden oder durch das blaue Glas scheinenden Objecte in das Bereich des Maxwell'schen Fleckes bezw. auf die Stelle des directen Sehens zu liegen und werden hier unter sonst günstigen Umständen unsichtbar. Können doch nach der alten und oft nachuntersuchten Erfahrung der Astronomen auch schwach weissleuchtende Objecte, wie z. B. Sterne, bei direkter Betrachtung verschwinden, während sie indirekt ganz gut gesehen werden. Da man jedoch unter den König'schen Versuchsbedingungen die blau leuchtenden Objecte, wenn man ihre Lichtstärke zureichend vergrössert, beim Fixiren besonders schön blau sieht, nämlich gesättigter blau als bei indirekter Betrachtung, so sind solche Versuche zwar recht geeignet, den vorzüglichen Blausinn der centralen Netzhaut und insbesondere auch der Fovea zu beweisen, nicht aber das Gegentheil. Deshalb erscheint es auch nicht nöthig, das interessante und bereits wiederholt untersuchte Verhalten der mittlen Netzhaut und ihrer Fovea gegen-

1) Ein solches Glas, dass nur blaue Strahlen durchlässt, besitze ich noch nicht. Die blauen Kobaltgläser, die ich und viele Andere zu benutzen pflegen, haben bekanntlich ein verwickeltes Absorptionsspectrum. Legt man eine genügende Zahl solcher Gläser übereinander, so lassen sie vom Tageslichte nur noch den röthlichblauen (indigoblauen) und violetten Theil des Spectrums mit merklicher Helligkeit durch, vom künstlichen Lichte (Gaslicht, Petroleumlicht, Auer-Glühlicht) aber überdies noch viel Roth. Hält man eine genügende Anzahl solcher Gläser vor das Auge, so kann der Mond für die centrale Netzhaut unkenntlich werden, wobei natürlich viel auf den jeweiligen Ermüdungszustand derselben mit ankommt. Bei Benutzung grüner Gläser ist der Versuch schon etwas schwieriger.

über schwach blau oder sonstwie leuchtenden kleinen Objecten bei hell- und bei dunkeladaptirtem Auge im Dunkelraume hier weiter zu besprechen.

Diese Versuche König's bieten also, abgesehen von der irrigen Schlussfolgerung, nichts wesentlich Neues. Völlig neue Thatsachen jedoch würden sich aus seinen Farbengleichungen ergeben, wenn sie richtig wären. Könnte der Leser nach der Beschreibung, welche König von dem „Verschwinden“ des durch ein blaues Glas fixirten Mondes giebt, auf die Vermuthung kommen, dass König sich die Fovea als völlig unerregbar durch blaue Strahlen denke, so lehren diese Gleichungen, dass dies nicht seine Meinung ist, sondern dass er der Fovea nur das Vermögen, die blaue „Grundempfindung“ zu erzeugen, absprechen will, im Uebrigen aber der Ansicht ist, dass blaues Licht die rothe und die grüne „Grundempfindung“ auch auf der Fovea zu erwecken vermöge; ein bestimmtes Roth, Grün und Blau sind nämlich nach seiner Ansicht die drei Grundempfindungen. Hiernach also wäre die Fovea „dichromatisch“.

Ich habe vor einiger Zeit auf die Eigenthümlichkeit der Farbengleichungen hingewiesen [1]), welche in einem viel kleineren Felde hergestellt werden, als sonst gebräuchlich ist. König versuchte nun, spectrale Farbengleichungen in so kleinem Felde herzustellen, dass das Bild desselben auf der Fovea Platz hatte. Die eine Hälfte des Feldes wurde mit je einem passenden Gemisch aus rothem Lichte von 650 $\mu\mu$ und blauem Lichte von 475 $\mu\mu$ beleuchtet, die andere mit je einem im Spectrum zwischen den beiden eben genannten liegenden einfachen Liche. Er behauptet, dass sich zu jedem dieser einfachen Lichter ein passendes Gemisch aus den beiden erstgenannten (650 und 475 $\mu\mu$) herstellen liess, welches bei entsprechender Intensität dem einfachen Lichte ganz gleich schien.

1) Ueber den Einfluss der Macula lutea auf spectrale Farbengleichungen. Dieses Arch. Bd. 54. S. 277. 1893. In dieser Abhandlung erwähnte ich die Angabe Max Schultze's über die gelbe Pigmentirung der Fovea centralis, welche in Widerspruch steht mit den Angaben andrer Autoren. Durch die Güte meines Collegen Gussenbauer hatte ich bald nachher Gelegenheit, ein ganz frisches Auge zu untersuchen, in welchem sich die Retina ohne den als Foramen centrale bekannten Defect isoliren liess. Mir schien ebenfalls die Mitte der Macula pigmentfrei, die Zone stärkster gelber Pigmentirung aber der Mitte am nächsten.

„Die völlige Dichromasie meiner Fovea“, so sagt er (S. 592 [16]), „habe ich nachgewiesen, indem ich innerhalb derselben Farbengleichungen zwischen Mischungen von 650 $\mu\mu$ und 475 $\mu\mu$ einerseits und allen dazwischen liegenden Spectralregionen anderseits herstellte.“

Man ist zunächst überrascht, bei allen diesen Gleichungen das Licht von 475 $\mu\mu$ verwendet zu finden; denn dieses Licht ist blau, und blaues Licht sollte nach König's eben besprochenen Angaben die Fovea so wenig erregen, dass es sehr leicht „verschwindet.“ Diesem Uebelstande musste also dadurch abgeholfen werden, dass das blaue Licht von 475 $\mu\mu$ bei grösserer Intensität angewendet wurde, als das blaue Licht der auf der Fovea verschwindenden Lichtpunkte oder des durch das blaue Glas gesehenen Mondes. Man vermisst jedoch eine Mittheilung darüber, wie für König das zu allen seinen Gleichungen verwendete blaue Licht ausgesehen hat, wenn er damit seine Fovea bei jener Intensität beleuchtete, bei der es auf derselben nicht mehr verschwand, und ob es da wirklich gelbgrün aussah, wie dies nach seinen „Grundempfindungscurven“ (s. u.) der Fall sein müsste, wenn seine Fovea wirklich „blaublind“ wäre. Mir erscheint dieses Licht, mit der Fovea bei passender Intensität gesehen, selbstverständlich schön blau, und andern „Trichromaten“ auch.

Die Farbentöne, welche durch Mischung des genannten Blau von 475 $\mu\mu$ und Roth von 650 $\mu\mu$ erzeugt werden können, sind Indigoblau, Violett, Violett-Purpur, Roth-Purpur, kurz alle jene Töne, welche im Farbenzirkel die Uebergänge vom Blau durch Purpurroth hindurch bis zum gelblichen Roth des Spectrums bilden. Dies sind also die Farben, welche auf der einen Seite der erwähnten Gleichungen erscheinen konnten. Die Farbentöne aber, welche den im Spectrum zwischen Roth von 650 $\mu\mu$ und Blau von 475 $\mu\mu$ liegenden einfachen Lichtern entsprechen, nämlich Orange, Gelb, Grüngelb, Grün, Grünblau und deren Zwischentöne sind jene Farben, welche auf der andern Seite der Gleichungen vorkommen konnten. Man erkennt sofort, dass derartige Gleichungen nur bei Roth-Grünblindheit („Rothblindheit“ oder „Grünblindheit“) möglich sein würden. Denn für den Roth-Grünblinden ist das Licht von 650 $\mu\mu$ ein Gelb von grösserer Sättigung als alle übrigen Lichter kleinerer Wellenlänge bis zu der sogenannten neutralen Stelle seines Spectrums, und das Licht von 475 $\mu\mu$ ist für ihn ein Blau von grösserer Sättigung als alle Lichter grösserer Wellen-

länge bis zu dieser neutralen Stelle: folglich kann für ihn aus einem passenden Gemisch dieser beiden Lichter eine Gleichung mit jedem zwischen 650 $\mu\mu$ und 475 $\mu\mu$ gelegenen einfachen Lichte hergestellt werden.

Für König haben wahrscheinlich derartige Ueberlegungen kein Gewicht, und ich könnte auch nicht hoffen, ihn durch dieselben von seinem Irrthum zu überzeugen. Denn er betrachtet die Erscheinungen des Farbensinns vom Standpunkte seiner drei „Grundempfindungscurven“ [1]), obwohl denselben, seit auch Helmholtz sie nicht gelten liess, ausser von König und seinen Mitarbeitern kaum noch von irgend Jemand eine reale Bedeutung beigelegt wird. Diese „Grundempfindungscurven“ hält König, wie er (S. 596 [20]) ausdrücklich bemerkt, auch jetzt noch für richtig, sofern man nur die bezüglichen Gleichungen bei hinreichender Lichtintensität herstelle; für „niedrigere Helligkeiten“ seien diese Curven allerdings nicht mehr „berechtigt“, seit es sich herausgestellt habe, dass für solche das Newton'sche Mischungsgesetz nicht gültig sei. Solche niedrige Intensitäten waren, wie aus dem oben Gesagten folgt, bei Herstellung der Gleichungen für die Fovea ausgeschlossen, weil andernfalls das blaue Licht von 475 $\mu\mu$, welches stets mit benützt wurde, unter dem Schwellenwerthe geblieben und „verschwunden“ wäre.

Nun sind aber, wenn man sich einmal auf den König'schen Standpunkt stellen und seine „Grundempfindungscurven“ gelten lassen will, die von ihm für die Fovea behaupteten Farbengleichungen ebenso unmöglich, wie sie auch in Wirklichkeit für den von von Vintschgau und mir untersuchten Blaugelbblinden unmöglich waren. Dies ist so offenbar, dass ich mich der Hoffnung hingebe, auch König selbst davon zu überzeugen.

Nach den König'schen Curven für die rothe und grüne

---

1) Die Grundempfindungen und ihre Intensitätsvertheilung im Spectrum. Sitzungsber. der Berliner Akad. vom 29. Juli 1886. Dass es ganz unzulässig ist, Curven, welche die Vertheilung angenommener Componenten des optischen Reizwerthes der Lichter im Spectrum darstellen sollen, als Empfindungscurven zu bezeichnen, habe ich schon einmal betont. Die strenge begriffliche Unterscheidung des optischen Reizwerthes eines Lichtes von der Empfindung, die es uns erweckt, ist eine der unentbehrlichsten Voraussetzungen einer klaren Behandlung der Farbenlehre.

Grundempfindung bezw. nach der entsprechenden Tabelle (l. c. S. 827 [23]) hat, bezogen auf einen bestimmten Einheitswerth,

Licht von 650 $\mu\mu$ den Rothwerth 1,70 und den Grünwerth 0,38;
„ „ 475 $\mu\mu$ „ „ 0,83 „ „ „ 1,36.

Im Lichte von 475 $\mu\mu$ ist also das Verhältniss des Grünwerthes zum Rothwerthe, d. i. $\frac{G}{R} = 1{,}64$. In allen (für uns vorwiegend grünen) Lichtern zwischen den Frauenhofer'schen Linien E und F ist aber nach König's eigenen Tabellen und Curven dieses Verhältniss ein wesentlich grösseres, z. B. für 516,5 $\mu\mu = 2{,}04$; für 505 $\mu\mu = 2{,}26$; für 495 $\mu\mu = 2{,}28$. Folglich wäre es für Blaublinde unmöglich, aus einem Gemisch von 650 $\mu\mu$ und 475 $\mu\mu$ eine Gleichung mit den zwischen den Linien E und F des Spectrums gelegenen Lichtern herzustellen. Denn wenn man dem Lichte von 475 $\mu\mu$, in welchem das Verhältniss $\frac{G}{R}$ bereits nur 1,64 beträgt, das Licht von 650 $\mu\mu$ beimischt, dessen Rothwerth über viermal grösser sein soll, als sein Grünwerth, so wird selbstverständlich in dem Gemisch der Grünwerth im Verhältniss zum Rothwerth stets kleiner, nie aber grösser als 1,64, wie dies doch zur Herstellung einer Gleichung mit den einfachen Lichtern zwischen den Linien E und F nöthig wäre [1]).

Wenn also König behauptet, er habe „innerhalb der Fovea Farbengleichungen zwischen Mischungen von 650 $\mu\mu$ u. 475 $\mu\mu$ einerseits und allen dazwischen liegenden Spectralregionen anderseits“ hergestellt, so behauptet er etwas nach seinen eigenen Curven und Tabellen (über die Vertheilung der Roth-Grünwerthe im Spectrum seines eigenen Auges) bei Blaublindheit Unmögliches; ganz abgesehen davon, dass es überhaupt nicht richtig ist.“

---

1) Ein kritischer Blick auf sein eignes Farbendreieck, wie er es auf Grund der erwähnten Tabellen construirt und u. A. in No. 50 der „naturwissenschaftlichen Rundschau“ (Extrabeilage) abgebildet hat, hätte König über den Widerspruch belehren können, in den er durch die angeführten angeblichen Gleichungen mit sich selbst gekommen ist. Denkt man sich aus dem mit „Blau“ bezeichneten Eckpunkte dieses Dreiecks eine Gerade durch den, dem Lichte 475 $\mu\mu$ entsprechenden Punkt der Curve der homogenen

Für einen „Rothblinden“ oder „Grünblinden“ (d. h. für einen Roth-Grünblinden) kann man allerdings auch nach den König'schen Curven zwischen je einem Gemisch aus den beiden von ihm benutzten Lichtern und jedem im Spectrum zwischenliegenden homogenen Lichte Gleichungen herstellen. Unbedenklich hat nun König dasselbe für die „Blaublindheit“ angenommen, für welche es keinen Sinn hat; und doch behauptet er, schon Fälle von Blaublindheit untersucht und diagnosticirt zu haben.

Es ist ausgeschlossen, dass die Zahl 475 ein Druckfehler sein kann, denn nehmen wir ein Licht kleinerer Wellenlänge, so wird der Widerspruch auf Grund der König'schen Curven nur noch auffallender, und ein Licht wesentlich grösserer Wellenlänge (z. B. 485 $\mu\mu$) hätte auch keinen Sinn.

Der höchst sonderbare Sachverhalt ist also folgender: König schliesst aus Versuchen, mit denen sich bei einiger Abänderung leicht der vortreffliche Blausinn der Fovea erweisen lässt, dass letztere blaublind sei. Diese Blaublindheit beweist er dann mit Hülfe von Farbengleichungen, welche, wenn sie richtig wären, zwar Roth-Grünblindheit („Rothblindheit“ oder „Grünblindheit“), nicht aber „Blaublindheit“ der Fovea beweisen könnten. In Wirklichkeit aber ist die Fovea weder „blaublind“ noch roth-grünblind, sondern eminent farbentüchtig.

Bei solchen unglaublich scheinenden Widersprüchen könnte jemand auf den Gedanken kommen, dass in einem Apparate für spectrale Farbenmischung das Erkennen der Farbe auf einem so kleinen Felde, wie König es benutzte, ganz unsicher sei. Dies

---

Lichter bis zur gegenüberliegenden Dreieckseite gezogen, so schneidet diese Gerade die Curve nochmals in einem Punkte, dessen zugehöriges homogenes (grüngelbes) Licht zwischen Gelb von 575 $\mu\mu$ und Grün von 526 $\mu\mu$ liegt. Nur diejenigen Lichter, welche rothwärts von jener Geraden zwischen diesem grüngelben und dem rothen Lichte von 650 $\mu\mu$ gelegen sind, lassen eine Gleichung mit einem Gemisch aus 650 $\mu\mu$ und 475 $\mu\mu$ zu. Alle homogenen Lichter aber, welche auf der Curve grünwärts von der Geraden zwischen jenem grüngelben und dem blauen Lichte von 475 $\mu\mu$ liegen, lassen eine solche Gleichung nicht zu. Sie nehmen eine beiläufig doppelt so lange Strecke auf der Curve ein, als die zu den genannten Gleichungen verwendbaren Lichter.

ist aber für ein normales Auge nicht der Fall, wenn man nur nicht unter Bedingungen arbeitet, welche überhaupt die Farbenwahrnehmung beeinträchtigen, also z. B. zu starke Ermüdung der centralen Netzhaut, zu weit vorgeschrittene Dunkeladaptation des Auges bei allzu geringer Intensität des benützten Lichtes. Ich habe genügend viel mit spectralen Lichtern in sehr kleinem Felde zu thun gehabt, um dies mit voller Bestimmtheit aussprechen zu können. Man kann die entsprechend kleine Oeffnung eines Diaphragmas nach einander mit allen Lichtern des Spectrums erleuchten und wird beim Fixiren der Mitte des Feldes die einzelnen Farben ganz deutlich unterscheiden [1]), wenn man ihnen nur eine irgend passende Helligkeit gibt, und die centrale Netzhaut sich nicht in einem extremen Zustande befindet. Ebenso kann man in solch kleinem Felde die durch Mischung von Roth (650 $\mu\mu$) und Blau (475 $\mu\mu$) herstellbaren Farbentöne sichtbar machen und sich überzeugen, wie gut man Violett, bläulichen Purpur und Rothpurpur bei direkter Betrachtung unterscheidet, wenngleich die Deckung der beiden gemischten Lichter wegen ihrer so verschiedenen Brechbarkeit keine genaue ist. Farbengleichungen werden selbstverständlich in so kleinem Felde stets viel zu wünschen übrig lassen.

Leider theilt König gar nicht mit, in welcher Farbe er mit seiner Fovea beide Hälften des kleinen Feldes gesehen hat, während eben eine der vermeintlichen Gleichungen auf demselben eingestellt war. Nur über das Gelb von 580 $\mu\mu$ sagt er, dass dasselbe gleich dem unzerlegten Sonnenlichte erschienen sei, sagt aber nicht, ob ihm beide gelb, wie es seine „Grundempfindungscurven" fordern, erschienen seien, oder etwa beide weiss. Welche Farbe er gesehen hat, wenn z. B. ein für uns grünes einfaches Licht einem bestimmten Gemische aus dem erwähnten rothen und blauen Lichte gleich erschien, darüber sagt er nichts, obwohl dies doch von be-

1) Hat man sich längere Zeit in einem künstlich erleuchteten Raume aufgehalten, und hat sich dabei das Auge für die gelbe Farbe dieser Beleuchtung adaptirt, so leidet allerdings die Sättigung der gelben Farbentöne, insbesondere des Urgelb und des grünlichen Gelb. Richtet man unter solchen Umständen ein Taschenspectroskop mit gerader Durchsicht auf eine „weisse" Fläche, so sieht man im mässig hellen Spectrum die Stelle des Gelb nahezu farblos.

sonderem Interesse gewesen wäre, falls nämlich seine Fovea wirklich blaublind gewesen wäre; denn wir hätten dann einen Fall vor uns gehabt, in welchem ein im Allgemeinen Farbentüchtiger an begrenzter Stelle seiner Netzhaut zugleich „blaublind" gewesen wäre, und hätten also erfahren können, wie bei „Blaublindheit" die einzelnen Farben des Spectrums von dem gesehen werden, der alle Farben aus eigener Erfahrung kennt.

Da, wie gesagt, die von König mitgetheilten Farbengleichungen, wenn sie richtig wären, Roth-Grünblindheit (wenn nicht gar totale Farbenblindheit) seiner Fovea beweisen würden, so könnte man um seine Augen besorgt sein und ein centrales Farbenskotom bei ihm vermuthen. Ich theile jedoch diese Befürchtung nicht. Denn erstens erinnere ich mich, dass er mit derselben Unbedenklichkeit, mit welcher er jetzt behauptet, dass der Fovea jedes Farbentüchtigen ein nur „dichromatisches Farbensystem" zukomme, einmal behauptet hat, dass dem ganzen Farbensystem der Roth-Grünblinden nicht zwei variable Reizwerthcomponenten der verschiedenen Lichter entsprechen, sondern nur eine Variable[1]), was, um mich der König'schen Terminologie zu bedienen, besagen würde, dass die „Roth-Grünverwechsler" eigentlich ein „monochromatisches Farbensystem" haben. Er wollte dies an nicht weniger als 50 „Roth-Grünverwechslern" mit Hülfe von Farbengleichungen festgestellt haben, und versuchte sogar, als er auf die Unmöglichkeit seiner Annahme aufmerksam gemacht worden war, in einer Erwiderung[2]) seinen Kritiker ins Unrecht zu setzen und ihm einen schlimmen Versuchsfehler vorzuwerfen. Später hat er freilich, ohne seine frühere Angabe zu berichtigen, von den „Rothgrünverwechslern" unbedenklich als von „Dichromaten" in dem bekannten Sinne dieses Wortes gesprochen.

Was ferner für den normalen Zustand seiner Netzhaut spricht, sind einige Angaben, die er in der hier besprochenen Abhandlung über das Farbensehen seiner Fovea macht. Noch ehe er nämlich auf die Blaublindheit seiner Fovea zu sprechen kommt, sagt er S. 590 [14]: „Innerhalb der Fovea tritt monochromatisches Licht mit Ausnahme eines bestimmten Gelb (etwa 580 $\mu\mu$ für mein Auge) sofort mit farbigem Character über die Schwelle". Weiterhin spricht

1) Centralblatt f. Augenheilkunde 1885. S. 56.

2) Ebenda. S. 260.

er sogar von monochromatischen „grünen“, „rothen“, „blauen“ und „gelben“ Punkten, die er innerhalb der Fovea „farbig“ gesehen habe. Von monochromatischen „gelben“ Punkten sagt er sogar ausdrücklich, dass sie, wenn man ihre Intensität allmählich herabsetzt, „vor ihrem Verschwinden in der Fovea annähernd farblos werden“; also erschienen sie ihm bei grösserer Lichtstärke farbig. Hiernach würde seine Fovea nicht roth-grünblind sein können, wenngleich seine Farbengleichungen, wären sie richtig, Roth-Grünblindheit beweisen würden.

Was König an den letzterwähnten Stellen über das farblose oder farbige Auftauchen oder Verschwinden monochromatisch leuchtender „Punkte“ sagt, deren Intensität allmählich über oder unter den Schwellenwerth gebracht wird, enthält nichts Neues, wenigstens nicht für den, der weiss, dass die centrale Netzhaut einen stärkeren Farbensinn hat, als die excentrischen Theile, dass ferner das Verhältniss der weissen Sondervalenz eines spectralen Lichtes zu seiner farbigen Sondervalenz je nach der Wellenlänge ein sehr verschiedenes ist, und dass endlich in einem sonst dunklen Raume die Empfindlichkeit des Auges für die weissen Sondervalenzen der farbigen Lichter rasch wächst, was sich um so deutlicher geltend macht, je excentrischer (bis zu einer gewissen Grenze) das farbige Licht gesehen wird.

Hiermit wären, abgesehen von zwei am Schlusse zu besprechenden Punkten, die Thatsachen erschöpft, welche uns König im III. und IV. Abschnitt seiner Abhandlung mittheilt; das Uebrige sind Hypothesen.

Da ist zuerst die Annahme, dass nur die Stäbchen im Stande seien, blaue Empfindung zu vermitteln, weil nur sie Sehpurpur bezw. Sehgelb enthalten. Der Sehpurpur soll, wenn er durch Licht nur „schwach zersetzt“ wird, die Empfindung „Grau“ erzeugen, unter dem Einfluss stärkeren Lichts aber die Empfindung „Blau“. „Derselbe Vorgang“, sagt König, „der bei geringerer Intensität als Grau empfunden wird, braucht physiologisch nicht von andrer Qualität zu sein als derjenige, welcher bei grösserer Intensität die Empfindung Blau hervorruft“. Da nun die Fovea weder Stäbchen noch Sehpurpur enthält, sei sie blaublind. Die „Perception des Roth und Grün“ finde im Pigmentepithel der Retina statt, wobei die Zapfen als dioptrische Apparate mitwirken, während die Perception des Blau in den Stäbchen selbst stattfinden soll. „Die

Entstehung des Weiss“ sei „noch immer im Sinne der Young-Helmholtz'schen Theorie zu erklären“; denn „der mit der Weissempfindung verbundene physiologische Vorgang ist keine Steigerung des Vorgangs bei der Grauempfindung.“ Wo die Empfindung Grau aufhört und die durch einen ganz andern „physiologischen Vorgang“ vermittelte Empfindung Weiss anfängt, darüber giebt uns König keinen Aufschluss.

Hiernach würde die centrale Netzhaut, soweit sie keine Stäbchen enthält, auch keine weisse Empfindung vermitteln können, da ja das Blau, als die dritte, nach Helmholtz zur Weissempfindung nöthige Empfindungscomponente hier fehlen soll. Die Empfindung „Grau“ könnte von der centralen Netzhaut auch nicht vermittelt werden, da sie eben keine Stäbchen und keinen Sehpurpur enthält. Es würden für die centrale, stäbchenfreie Netzhaut nur die „Grundempfindungen“ Roth und Grün, sowie die nach Helmholtz aus denselben componirten Empfindungen Orange, Gelb und Gelbgrün nebst den bezüglichen Zwischentönen übrig bleiben. Dass es genügt, weisse oder graue Papierschnitzel, klein genug, um ihr Netzhautbild auf der Forea unterzubringen, auf einen etwas dunkleren Grund zu legen und ihren Mittelpunkt zu fixiren, um sich zu überzeugen, dass man mit der Fovea jedes beliebige Weiss oder Grau zu empfinden vermag, und dass man ebenso bei guter Beleuchtung blaue, violette und purpurfarbige Schnitzel, wenn sie auf einem Grunde liegen, der ihre Farbe nicht durch Helligkeits- oder Farbencontrast zu stark beeinträchtigt, beim Fixiren auch schön blau, violett oder purpurfarbig sieht[1]: dies, wie die zahllosen analogen Erfahrungen des täglichen Lebens berücksichtigt König nicht. Er holt seine Erfahrungen aus Spectralapparaten und Farbenmischungsapparaten, und wenn es ihm hier gelingt, unter unbewusster Mithülfe von allerlei Fehlerquellen Farbengleichungen herzustellen, welche seinen theoretischen Erwartungen entsprechen, so genügt ihm das, die farbentüchtigste Stelle der Netzhaut für „blaublind“ zu erklären.

---

1) Dem von Seite König's nicht unmöglichen Einwande. dass man in solchen Fällen die Schnitzel nicht eigentlich fixire, sondern nur zu fixiren glaube, während dabei die Gesichtslinie in Wirklichkeit auf einen neben dem Schnitzel liegenden Punkt treffe, ist so leicht zu begegnen, dass ich mich dabei nicht aufhalten will.

Es sind nur noch zwei Punkte kurz zu besprechen. König erschloss aus seinen Annahmen, dass ein total Farbenblinder auf seiner Fovea völlig blind sein müsse, weil dieselbe nur Zapfen enthält, und er fand dann auch bei einem total Farbenblinden, „dass bei ihm thatsächlich in dem Gesichtsfelde des rechten Auges dicht an der rechten Seite des Fixationspunktes eine selbst für hell leuchtende kleine weisse Flächen blinde Stelle lag." Ob die Farbenblindheit angeboren oder erworben war, wird nicht mitgetheilt, wohl aber, dass das linke Auge „in Folge starker Hornhauttrübungen seit einiger Zeit für solche Versuche ganz unbrauchbar geworden ist." Derartige Untersuchungen wird König wohl fortsetzen, und wir werden deren Ergebniss abwarten müssen.

Den Schluss der Abhandlung bildet folgender Versuch: König beleuchtete eine passende Stelle seiner Sklera mit hellem rothen oder grünen Lichte und fand, dass „an der von aussen beleuchteten Stelle niemals die Empfindung Roth bezw. Grün entstand." Dies erklärt er daraus, dass das Licht in verkehrter Richtung auf die Netzhaut gelangte, und deshalb die Wirkung der Zapfen fehlte, welche das Licht auf das, die rothe und grüne Empfindung vermittelnde Pigmentepithel concentriren sollen. Es ist aber doch längst bekannt, dass diejenigen excentrischen Netzhauttheile, welche einer directen Beleuchtung durch die Sklera überhaupt zugänglich sind, zum mindesten relativ roth- und grünblind sind und daher eine nicht sehr ausgebreitete oder gar schwache rothe oder grüne Beleuchtung gar nicht als roth oder grün zur Empfindung bringen. Wie also unter den beschriebenen Versuchsbedingungen von der durchleuchteten Stelle eine wahrnehmbare rothe oder, wenn man die Absorption der grünwirkenden Strahlen durch das Pigment bedenkt, gar grüne Empfindung vermittelt werden soll, wäre nicht einzusehen. Hiermit entfällt aber auch jede Beweiskraft des Versuches für die König'sche Doppelhypothese von der Function des Pigmentepithels und der Zapfen, mögen die letztern das Licht auf das Pigmentepithel concentriren oder nicht, und möge dieses Epithel „die noch unbekannten Sehsubstanzen für die Grundempfindungen Roth und Grün" enthalten oder nicht.

Auf die ersten Abschnitte der hier besprochenen Abhandlung König's werde ich vielleicht bei andrer Gelegenheit zurückkommen.

Zur Physiologie und Psychologie der Actinien.

Von

Jacques Loeb,
University of Chicago.

1. Im ersten Hefte meiner „Untersuchungen zur physiologischen Morphologie der Thiere“ [1]) habe ich u. A. auch die Resultate ausgedehnter Versuche über die Reizbarkeit der Actinien mitgetheilt. Da der Titel der Arbeit derartige Untersuchungen nicht erwarten liess, so sind dieselben nicht beachtet worden. Zwei Jahre nach dem Erscheinen meiner Broschüre veröffentlichte W. Nagel einen kurzen Aufsatz über „den Geschmackssinn der Actinien“ [2]), welcher zum Theil denselben Gegenstand nach denselben Methoden behandelte, wie meine Arbeit, ohne jedoch die letztere zu erwähnen. Neuerdings hat Nagel eine weitere Abhandlung [3]) demselben Gegenstande gewidmet, in der er bei sonst sorgfältiger Berücksichtigung der Literatur von meinen Versuchen ebenfalls keine Notiz nimmt. Es liegt mir selbstverständlich fern, dem Autor einen Vorwurf daraus zu machen, dass ihm meine Arbeit unbekannt geblieben ist. Da aber meine Versuche die Ansichten und Schlüsse Nagels nicht durchaus bestätigen, so möchte ich mir erlauben, auf einige meiner Beobachtungen hier aufmerksam zu machen.

Meine Versuche erstreckten sich auf A. equina, A. cari, Adamsia Rondel. Anemonia sulcata, Cereactis aurantiaca, Cerianthus u. A. Ich hatte gezeigt, dass die Tentakel einer Actinie einen Körper nur dann zum Munde führen, „wenn der aufgelegte Körper eine bestimmte chemische und mechanische Beschaffenheit hat“ (S. 58) und zeigte das u. A. in folgender Weise: „Wenn man auf den Mund einer Actinia equina der Ostsee ein Papierkügelchen legt, das lange in Seewasser aufgeweicht wurde, so nimmt der

1) Untersuchungen zur Physiologischen Morphologie der Thiere. I. Ueber Heteromorphose. Würzburg 1891. Erschienen September 1890.

2) Zoologischer Anzeiger No. 400. 12. Septembor 1892.

3) Dies Archiv, Bd. 57, S. 495.

Mund dieses Stück nicht an, während er ein Stück Krebsfleisch, das für unsern Geschmack bei blosser Berührung der Zunge sich von dem Papierkügelchen nicht unterscheidet, meist sofort nimmt. Ich band nun an das eine Ende eines ganz kurzen Fadens ein Papierkügelchen, an das andere Ende ein Stück Fleisch und warf das Ganze auf die ausgestreckten Tentakel eines hungrigen Thieres. Die Tentakel, die von dem Fleischstück berührt wurden, reagirten sofort durch die Krümmungen, welche das Fleischstück an den Mund brachten; die vom Papier berührten Tentakel reagirten nicht. Ich zog den Faden wieder weg und legte ihn jetzt im umgekehrten Sinne auf die Mundscheibe, sodass die vorhin vom Papier berührten Tentakel jetzt vom Fleisch berührt wurden. Die vom Fleisch berührten Tentakel führten das Fleischstück zum Munde, während die vom Papier berührten Tentakel dasselbe herunterfallen liessen. Das Fleischstück wurde dann in den Mund gewürgt, der Faden wurde mit hineingezogen, aber das Papierstück und ein Stück Faden blieb vor der Mundöffnung liegen. In den nächsten 24 Stunden änderte sich hieran nichts; dann aber wurde der Faden ausgespieen, aber ohne das Fleisch. Dasselbe war wahrscheinlich verdaut. Ich habe den Versuch oft mit dem gleichem Erfolge wiederholt" (S. 67).

In Bezug auf diesen Versuch stimmen nun Nagel's Angaben fast wörtlich mit meinen überein, wie folgendes Citat aus seiner ersten Arbeit zeigt.

„Versuch 1. Ein kleines Stückchen Sardinenfleisch wird mit der Pincette vorsichtig dem Tentakelkranze bis zur Berührung genähert. Die berührten Tentakel heften sich am Fleische sofort an und ziehen heftig daran; durch die Annäherung kommen dann noch mehr Tentakel mit dem Fleisch in Berührung und heften sich ebenfalls an. So ist in wenigen Secunden das ganze Stück Fleisch von den Fangarmen umschlossen und wird verschlungen.

Versuch 2. Aus reinem Filterpapier wird ein kleines Bällchen geformt, welches in Seewasser eingeweicht, eine ähnliche Consistenz besitzt, wie das Fischfleisch. Es wird der Actinie in derselben Weise gereicht, wird aber von den Tentakeln nicht ergriffen; entweder reagiren dieselben auf die Berührung gar nicht, oder die berührten Tentakel betasten langsam das Papierbällchen."

Nur darin zeigt sich ein wesentlicher Unterschied, dass Nagel diese und weitere Beobachtungen in die Worte kleidet,

dass die Actinien einen „Geschmackssinn" besässen, während ich mich darauf beschränkte zu behaupten, dass die Actinien „chemische Reizbarkeit" besitzen. Diese Unterscheidung ist für die Physiologie der niederen Thiere keineswegs gleichgültig. Der Ausdruck, ein Thier besitze „Geschmackssinn", oder irgend einen andern Sinn, involvirt ein Urtheil über die Empfindungen des Thieres, denn nur durch unsere Empfindungen sind wir im Stande zu unterscheiden, ob eine auf unserer Zunge ausgelöste Reizwirkung dem Qualitätenkreise des Geschmackssinnes oder des Gefühlssinnes etc. angehört. Ueber die Empfindungen einer Actinie wissen wir aber ebensowenig, wie über die Empfindungen von Pflanzen, die ja z. Th. auch auf chemische Reize reagiren. In denselben Fehler verfiel Romanes, wenn er behauptete, die Actinien besässen Geruchsinn.

2. Die chemische Reizbarkeit soll nun nach Nagel ausschiesslich in den Tentakeln ihren Sitz haben. Den naheliegenden Versuch, die Tentakel abzuschneiden und zuzusehen, ob die Actinien auch dann noch auf chemische Reize reagiren, hat er nicht angestellt, er würde sonst seine Behauptung wohl nicht aufgestellt haben. Ich will ein paar derartiger Versuche aus meiner Arbeit hier anführen. „Ich theilte durch einen Querschnitt eine Actinia equina in zwei Stücke. Das orale Stück — welches ich das Kopfstück nennen will — hatte an seinem oralen Ende, den alten normalen Mund, an seinem andern aboralen Ende war die Leibeshöhle ebenfalls offen, und von hier aus wurde ebenfalls Nahrung aufgenommen; aber Tentakel waren hier nicht vorhanden." ... „Dem Fussstück, welches an seinem aboralen Ende einen unversehrten Fuss, am oralen Ende dagegen eine Schnittfläche besitzt, wachsen an diesem Ende alsbald Tentakel; derselbe nimmt die Form eines Mundes an. Die Function eines Mundes hat die Schnittfläche schon bald nach der Durchschneidung, lange bevor eine Tentakelbildung vorhanden ist. Fleischstücke wurden aufgenommen und verschluckt. Es machte mir den Eindruck, als ob dieser neue Mund schon vor der Bildung der Mundstücke und Tentakel mehr dem alten normalen Munde gleiche, wenigstens hat er in meinen Versuche niemals Papierkügelchen oder Sandkörner angenommen, während er Fleisch mit grosser Gewandtheit frass."

3. Auch die mechanische Reizbarkeit soll nach Nagel hauptsächlich in den Tentakeln localisirt sein. Auf S. 530 sagt

er ausdrücklich: „Die Sohle der untersuchten Arten zeigte mir bei darauf hinzielenden Experimenten niemals Merkmale von Empfindlichkeit für mechanische oder sonstige Reize.“ Die hohe Empfindlichkeit der Sohle gegen mechanische Reize hatte ich aber schon durch entscheidende Versuche nachgewiesen, die allerdings der Methode nach sich von denen Nagel's wesentlich unterscheiden. Ich will einen derartigen Versuch hier citiren: „Während bei Cerianthus der ganze Rumpf mit Ausnahme der Mundscheibe mit einer besonderen Contactreizbarkeit ausgestattet ist, ist diese Contactreizbarkeit bei Actinia equina nur auf die basale Fläche beschränkt. Mit dieser Fläche heftet sich das Thier an die Oberfläche fester Körper an . . . Interessant bei dieser Contactreizbarkeit ist der Umstand, dass die Oberflächenbeschaffenheit des festen Körpers für die Auslösung dieser Fixirungsvorgänge nicht gleichgültig ist. Das Thier heftete sich, wenn es keinen andern Körper fand, an die Glaswand des Aquariums fest und glitt auf derselben umher; brachte ich aber die Schale einer Miesmuschel ins Aquarium und kam das Thier bei seinen Bewegungen an die Miesmuschel, so heftete es sich sofort an diese fest und blieb nun an derselben sitzen, gleichviel, ob die Miesmuschel leer oder bewohnt war. Ebenso wirkte die Oberfläche eines Blattes von Ulven, die ich im Aquarium hielt. Während jederzeit, wenn das Thier an der Glasplatte sass, der Contact mit einem Ulvenblatte zur Folge hatte, dass das Thier sich an die Ulva festheftete und die Glasplatte verliess, trat das Umgekehrte, dass das Thier die Ulva oder die Miesmuschel verliess, um sich an die Glasplatte festzuheften, nicht leicht ein. Diese Contactreizbarkeit des Fusses ändert sich nicht, wenn man dem Thiere den Kopf oder die grössere orale Partie abschneidet. Ich hatte mir Mühe gegeben, ein solches Bruchstück mit dem oralen Ende in Contact mit dem Boden des Aquariums zu halten, während der Fuss frei emporragte. Derselbe berührte einen Objectträger und hätte sich an demselben leicht festheften können; das that er aber nicht. Sobald aber ein im Aquarium schwimmendes Ulvenblatt seinen Fuss streifte, heftete derselbe sich sofort an dem Blatte fest.“ Ich betone, dass durch diesen Versuch die Unabhängigkeit der Reactionen des Fusses vom oralen Pole und den Tentakeln bewiesen war.

4. Wer mit der Psychologie der niederen Thiere vertraut

ist, weiss, dass diese Psychologie vielfach darin besteht, dass der Autor uns versichert, diese oder jene Erscheinung sei „entschieden psychisch“ und nicht „physiologisch“ oder „physisch“ oder „mechanisch.“ So erklärt Nagel, dass wenn die Actinie ein Fleischstück zum Munde führt, es sich nur um einen „reflectorischen“ Act handele; wenn aber dieselbe Actinie ein aufgelegtes Papierstückchen vom Munde fortbewegt, „so offenbare sich die Psyche in zweifelloser Weise.“ Ich habe die Erscheinung, um die es sich handelt, oft beobachtet und auch beschrieben, aber mir kam es vor, als ob sich hier eine Flimmerbewegung offenbare. Aber wenn das auch ein Irrthum sein sollte, so ist es mir doch unverständlich, nach welchen erkenntnisstheoretischen Prinzipien die Reaction der Tentakel auf einen Reiz als Reflexact, die entgegengesetzte Reaction auf einen anders gearteten Reiz als „Offenbarung der Psyche“ bezeichnet werden kann. Derartige Offenbarungen mögen den Theologen willkommen sein, wissenschaftliche Einsichten gewähren sie dagegen nicht. Wie ich in meinen „Beiträgen zur Gehirnphysiologie der Würmer“[1]) ausgeführt habe, hat die psychologische Erforschung niederer Thiere mit der Beantwortung der Frage zu beginnen, ob sich assoziatives Gedächtniss bei dem Thier nachweisen lasse. Fehlt dieses Gedächtniss, so ist es überflüssig, weitere psychologische Hebel und Schrauben anzuwenden. Ich verwendete viel Zeit darauf, festzustellen, ob Actinien assoziatives Gedächtniss besitzen. Es gelang mir aber nicht eine einzige Reaction zu finden, die darauf hindeutet, nicht einmal bei Cerianthus, der noch am ersten etwas derartiges erwarten liesse. Dagegen gelangen Versuche, die für sehr wesentliche Fälle das Fehlen des Gedächtnisses sicher darthun. Es war mir nämlich gelungen, unter gewissen Umständen mundlose Köpfe bei Cerianthus hervorzubringen: „Diese mundlosen Köpfe reagirten auf Berührung durch Nahrungsmittel genau wie normale Köpfe ... Legt man vorsichtig ein Stück Fleisch auf die Spitze der äusseren Tentakel eines neugebildeten Kopfes, der keine Mundöffnung besitzt, so ergreifen dieselben gleichwohl das Fleischstück in der vorhin geschilderten Weise; sie bringen es in die Mitte der neugebildeten Mundscheibe, die inneren Tentakel umfassen das Fleischstück und pressen es gegen die Mundscheibe; die Randtentakel

1) Pflüger's Archiv Bd. 56.

legen sich alsdann auch noch über das Fleischstück und nun quält sich das Thier einige Minuten vergeblich damit ab, das Fleischstück in den Mund hineinzudrücken, der nicht existirt. Dann werden zuerst die äusseren Tentakel von der Mitte der Mundscheibe zurückgezogen, sie werden wieder ausgestreckt und das gleiche geschieht gleich darauf mit den inneren Tentakeln. Das Fleischstück aber gelangt nach einiger Zeit (wohl durch Flimmerbewegung?) wieder an den Aussenrand der Tentakel und fällt hier ab. Man kann den Versuch mit dem gleichen Erfolg bei den neugebildeten Köpfen ohne Mundöffnung beliebig oft hintereinander wiederholen. Sie reagiren immer wieder auf das Auflegen eines Fleischstücks, keine Spur von Gedächtniss ist vorhanden" (S. 57 u. f.).

Dass sich die Reactionen niederer Thiere wie alle anderen naturwissenschaftlichen Vorgänge in der Form einfacher Abhängigkeitsverhältnisse darstellen lassen, habe ich in meinen Arbeiten über den Heliotropismus der Thiere zu zeigen versucht. Meine Versuche an Actinien und Würmern, auf die ich hier nicht weiter eingehen will, haben mich in dieser Auffassung nur bestärkt.

5. Ich möchte zum Schluss noch auf einen andern Umstand aufmerksum machen. In jenen Arbeiten über Heteromorphose habe ich meines Wissens zum ersten Male künstlich veränderte Organe resp. heteromorphe Thiere dazu benutzt, um physiologische Abhängigkeitsverhältnisse (Functionen) zu analysiren. Ich zweifele nicht daran, dass diese Methode in Zukunft mehr angewendet und sich für die Physiologie sehr fruchtbar erweisen wird.

Erwiderung auf Herrn Hoorweg's Abhandlung betr. „Ueber die Nervenerregung durch Condensatorentladungen."

Von

N. Cybulski und **J. Zanietowski.**

Im zehnten Hefte dieses Archivs (Bd. 57, S. 427—437) finden wir eine kurze Abhandlung von H. J. L. Hoorweg; „Ueber die Nervenerregung durch Condensatorentladungen", in welcher der Verfasser bei Besprechung der von uns in demselben Archiv (Bd. 56 S. 45—148) beschriebenen Reizungsmethode die Hoffnung hegt, uns überzeugen zu können, dass, obwohl unsere Versuchsmethode „einwurfsfrei und mit Sorgfalt durchgeführt" ist, doch die Resultate derselben wegen mangelhafter Condensatoren „allen Werth entbehren" (S. 431).

Wir müssen jedoch vor allem die Aufmerksamkeit des Herrn Hoorweg darauf lenken, dass der Zweck seiner Experimente und derjenige der unsrigen ganz verschieden sind. Während nämlich Herr Hoorweg dahin strebte, eine mathematische Formel der Erregung auszusuchen, bemühten wir uns, die Lücke, welche in dem Mangel einer genauen Reizmethode besteht, auszufüllen, ohne jedoch zu glauben, so wie Herr Hoorweg es ausdrücklich wiederholt (S. 427), „die Energie als Maass der elektrischen Erregung gefunden zu haben."

Da nun von allen Arten der bisher angewandten elektrischen Reizungen nur die Reizung durch Condensatorentladungen am besten eine exacte Bestimmung der physikalischen Bedingungen ermöglichte, haben wir genau die Wirkung der Condensatorentladungen auf Nerven und Muskeln studirt, und uns nach langen Proben eine möglichst praktische und doch genaue Versuchseinrichtung zu konstruiren bemüht, die dem oben erwähnten Zwecke entsprechen würde. Dieses doppelte Ziel der praktischen Brauchbarkeit und der wissenschaftlichen Genauigkeit hatten wir zuerst im Auge, sowohl in der Auswahl der einzelnen Bestandtheile, wie

auch in der Einrichtung der ganzen Reizungsmethode. Erst als dieselbe uns „einwurfsfrei“ (so wie sie Herr Hoorweg selbst nennt, S. 431) zu sein schien, haben wir die Abhängigkeit des physiologischen Reizeffektes von dem Potential, der Elektricitätsquantität und der Energie gesucht. Da nun in diesen Versuchen eine gewisse Relativität zwischen der Energie des Reizes und der Zeit, in welcher die Ladung den Nerv durchströmt, einerseits, und dem physiologischen Effecte andererseits sichtbar war; da wir zweitens in zahlreichen Versuchen bei verschiedenen Quantitäten und derselben Energie dieselbe Zuckung erhielten, haben wir die Hypothese aufgestellt, dass die Erregung von der Energie und der Zeit der Entladung abhängig ist, und aus diesem Grunde in einigen Versuchsreihen den Reiz in Ergen ausgedrückt. Daneben bemerkten wir es ausdrücklich (S. 97), dass, wenn auch die Abhängigkeit von der Erregungsenergie, die wir in unseren Experimenten fanden, durch weitere Forschungen nicht bestätigt worden wäre, die Thatsache, dass sich die elektrische Wirkung auf den Nerv in Einheiten der Energie ausdrücken lässt,“ uns dazu führen musste, den Reiz in diesen Einheiten auszudrücken, da auf diese Weise wir die innere und äussere Energie der Zuckung mit der Energie des Reizes vergleichen könnten. Von diesem rein praktischen Standpunkte ausgehend, haben wir den Reiz in Einheiten der Energie ausgedrückt, ohne jedoch es zu vermeiden, die physiologischen Effecte auch mit dem Zuwachs der Polspannung, Quantität u. s. w. zu vergleichen.

Kurz gesagt, war also unsere Aufgabe ganz praktisch, während Herr Hoorweg in seiner Arbeit dahin gestrebt hat, die Art und Weise der Wirkung der Elektricität zu erklären, und auf Grund seiner Experimente eine empirische Formel aufzustellen, welche eine „mathematische Vorstellung des allgemeinen Grundgesetzes der elektrischen Nervenerregung“ sein soll (S. 436). Endlich verwirft er (ibid. S. 433) „alle diejenigen Erregungsgesetze, welche für Condensatorentladungen zu einer anderen als zu dieser Formel leiten“.

Was den Hauptvorwurf anbelangt, als ob unsere Condensatoren (von Siemens) ihrem Ziele gar nicht entsprechen sollten, müssen wir ihn als zu umfangreich ansehen. Herr Hoorweg sagt nämlich auf S. 431: „Um so mehr ist es zu bedauern,

dass allein wegen der mangelhaften Isolation der Condensatoren die Resultate der Herren C. und Z. allen Werth entbehren". Um uns zu überzeugen, was für einen Einfluss diese mangelhafte Isolation hat, wird es genügen, unsere Experimente mit denjenigen des Herrn H. zu vergleichen.

Nehmen wir z. B. einige Versuche in unserer Abhandlung (S. 81 — 83) und in Herrn Hoorweg's Antwort S. 432). Bei der Anwendung von Condensatoren von 2000.10^{-11} und 500.10^{-11} (die wir deswegen wählen, da sich dieselben Capacitäten auch in unseren Versuchen befinden) erhält Herr Hoorweg folgende (zum Hervorrufen der minimalen Zuckung nöthige) Quantitäten:

Condens. 2000.10^{-11}	Condens. 500.10^{-11}
490.10^{-11} Coulombs	309.10^{-11} Coulombs
260.10^{-11}	156.10^{-11}

Wir erhielten die minimale Zuckung in ähnlichen Versuchen I., II. und III. Versuch S. 81 — 83) bei folgenden Quantitäten:

Condens. 2000.10^{-11}	Condens. 500.10^{-11}
372.10^{-11} Coulombs	234.10^{-11} Coulombs
416.10^{-11} C.	252.10^{-11} C.
321.10^{-11} C.	164.10^{-11} C.

Die Schwankungen sind also bei Herrn Hoorweg **230** und **143**, bei uns **95** und **88**. Daraus ist es leicht ersichtlich, dass beinahe alle unsere Zahlen in den Grenzen derjenigen fallen, die Herr H. angibt. Diese Uebereinstimmung zeigt uns, dass, wenn man einen Vorwurf unseren Zahlen machen will, derselbe zuerst Herrn Hoorweg's Zahlen treffen muss, welcher die möglichst besten Condensatoren gebrauchte, oder dass unsere Condensatoren ebenso gut sind, wie diejenigen des Herrn Hoorweg. Warum also unsere Experimente nicht wenigstens diesen Werth haben sollen, wie Herrn Hoorweg's Versuche, ist schwer zu verstehen. Die Zahlen stimmen nur dort nicht überein, wo wir die kleinsten Conden-

satoren benutzten (z. B. 55.10^{-11} F.), von denen wir lange gewusst haben, dass man mit ihnen sehr sorgfältig experimentiren muss. Deswegen gebrauchten wir entweder Mica-Condensatoren oder auch Paraffin-Condensatoren, in welchen die isolirende Schichte jedoch nicht aus einem, sondern aus mehreren Paraffinpapierblättern bestand. Da nach diesem allgemeinen Vorwurfe uns Herr Hoorweg keine Experimente mit solchen Mica-Condensatoren vorbringt, wie unsere kleinsten Paraffincondensatoren, können wir uns nicht so leicht davon überzeugen, dass diese Condensatoren wirklich so „lech" sind und „einen messbaren Widerstand dem Strom bieten" (S. 431), wobei wir jedoch nicht leugnen wollen, dass ein minimales Electricitätsquantum wegen Bestäubung der Contacte oder irgend einer kleinen Ungenauigkeit der Verbindung verloren gehen könnte. Mit diesem Punkte werden wir uns noch auf einer anderen Stelle beschäftigen; jedoch glauben wir, dass, wenn auch Herr Hoorweg Recht hätte, dass unsere Zahlen wegen Verlust der Electrizität nur in einigen Fällen zu gross wären, diese Thatsache doch den Werth seiner Formel nicht retten wird.

Einige, mit einem Luftcondensator (wo die Isolirung also ganz sicher war) durchgeführten Experimente haben uns überzeugt, was schon von unseren früheren Versuchen bestätigt wurde (S. 104), dass es ein anderes Verhältniss zwischen dem Potential und dem eingeschalteten Widerstande gibt, als es Herr Hoorweg denkt; seine Formel lautet nämlich

$$P = aR + \frac{b}{C}$$

während der Versuch uns zeigt, dass, je grösser der eingeschaltete Widerstand des Nerven ist, die Polspannung und die Quantität desto kleiner sein müssen, um eine minimale Zuckung hervorzurufen. Als Beispiel führen wir hier nur zwei Versuche an, in welchen wir, um immer denselben Contact mit dem Nerven zu erhalten, den Nerven so auf die unpolarisirbaren Elektroden hinlegten, dass man durch einfaches Auseinanderschieben der Electroden einmal 2 mm und wiederum 30 mm desselben Nerven reizen konnte, ohne dessen Lage auf den Electroden zu ändern.

Condens. 109.10⁻¹¹ F			
Widerstand des Nerven	Volts	Coulombs	Ergs
62300 Ohms	1,455	$162,05,10^{-11}$	0,0106
221600 Ω	0,945	$102,4.10^{-11}$	0,004
Condens. 188.10⁻¹¹ F			
23300 Ω	1,58	$297,04.10^{-11}$	0,023
191300 Ω	1,09	$204,92.10^{-11}$	0,011

Dasselbe war schon aus den Tabellen auf S. 103, 104 unserer Abhandlung ersichtlich, wo zwar die Coulombs nicht angegeben sind, aber wo die Reochordlänge desto mehr wächst, je kleiner der Abstand der Elektroden, und was dessen Folge ist, der Widerstand der Nerven ist. Wie kann man nun die Formel

$$P = aR + \frac{b}{C}$$

erklären, wo P mit dem Zuwachs von R wachsen soll, wenn a, b und C constant bleiben.

Zweitens haben unsere Experimente, in welchen wir den Zuwachs der Muskelzuckung mit dem Zuwachs der Elektrizitätsmenge zu vergleichen versucht haben (S. 114, 116), es schon genau gezeigt, dass, wenn die Elektrizitätsmenge um ein gewisses Quantum wächst, der Zuwachs der Zuckungshöhe und der Arbeit nicht gleichmässig ist; beide wachsen nämlich anfangs langsam, dann schneller, und nachdem sie eine gewisse Höhe erreicht haben bleiben sie trotz des fortdauernden weiteren Zuwachses des Reizes auf derselben stehen. Diese Thatsache, welche doch überhaupt nicht geleugnet werden kann, dass es ein Maximum der Erregung gibt, welches man trotz Verstärkung des Reizes nicht überschreiten kann, steht doch keineswegs in Uebereinstimmung mit der von Herrn Hoorweg citirten[1]) Formel

$$y = \frac{\alpha_0 PC}{\beta RC + 1}$$

woraus es doch klar einleuchtet, dass die Totalerregung y mit der Quantität PC proportional wachsen muss. Zwar sagt Herr

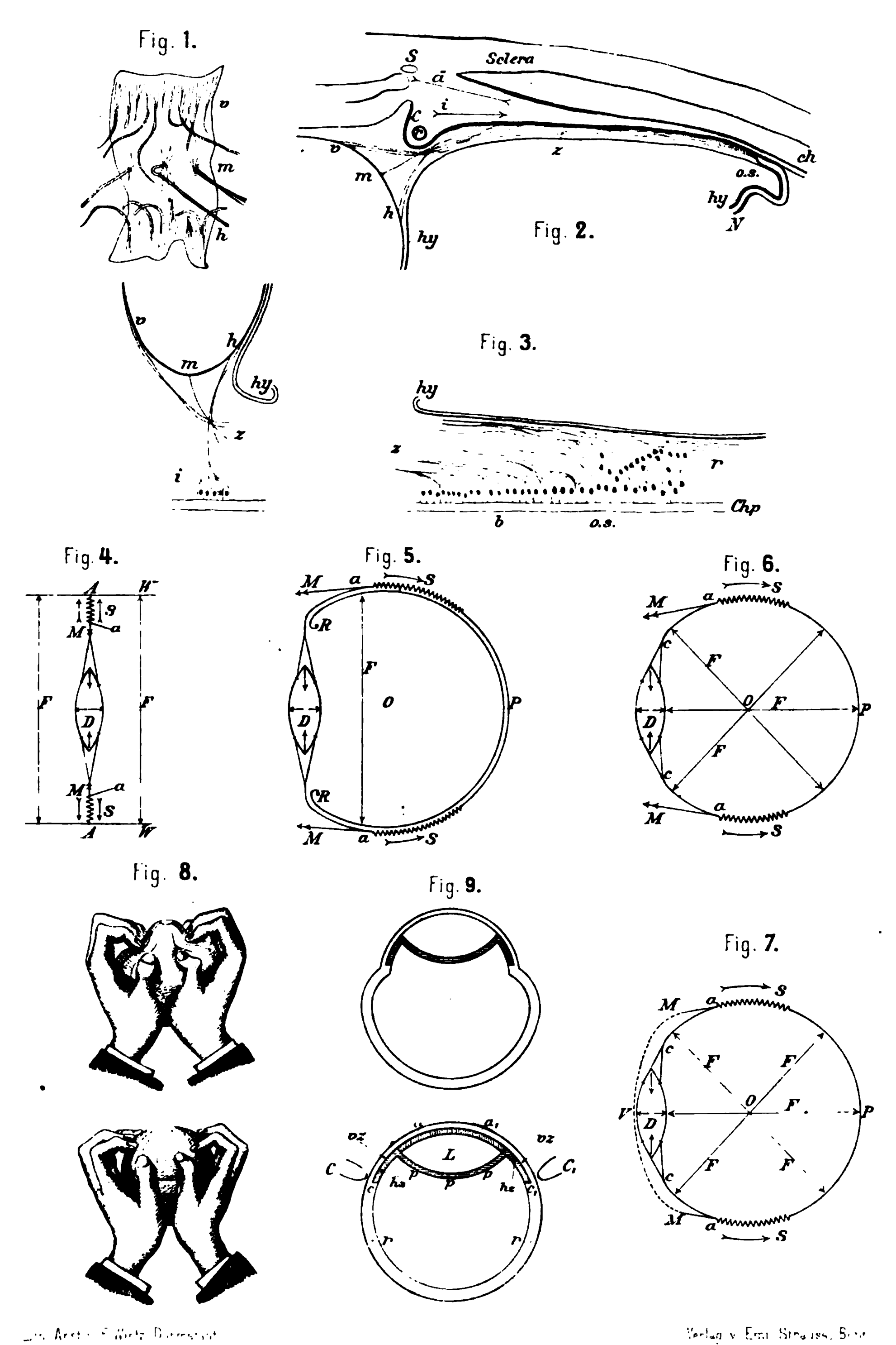
1) „Ueber eine neue Methode der elektrodiagnost. Untersuchung.“ Deutsch. Arch. für klin. Med. Bd. 51. S. 208.

Hoorweg in der Fortsetzung der erwähnten Abhandlung (Deutsch. Arch. für klin. med., Bd. 52, S. 551). „Es scheint, dass meine Abhandlung in Pflüger's Archiv hier und dort an Deutlichkeit zu wünschen übrig gelassen hat, denn viele hegen die Meinung, ich habe die Erregung einfach der Quantität Elektrizität proportional gefunden, während ich doch in Wirklichkeit zu einem ganz anderen Resultate gelangte."

Diese Behauptung ist wahr, was die Deutlichkeit anbetrifft, weil wir uns anders die erwähnte Formel gar nicht erläutern können.

Dass in der Arbeit des Herrn H. sich einige andere Undeutlichkeiten befinden, lässt sich nicht leugnen, wie zum Beispiel: Auf S. 554 sagt Herr H. selbst, dass die Einheit der Erregung diejenige Erregung ist, welche „die minimale Zuckung auszulösen im Stande ist"; auf S. 553 finden wir aber, dass „die Untersuchungen . . . über die Grösse der Zuckungen bei verschiedenen Stromstärken nicht mehr die Erregung, sondern die Zuckung zum Zweck haben". Wie man das verstehen, wie man überhaupt die Veränderungen der Erregung untersuchen soll, ohne die Zuckung zu beobachten, ist uns unbegreiflich. Dazu beschreibt Herr H. so wenige Experimente und so wenig genau, dass wir nicht wissen, wie z. B. die als Erregungseinheiten aufgefassten Zuckungen beobachtet waren; ob er z. B. das Minimum unter dem Mikroskop, oder mit blossem Auge, oder vermittelst eines Myographions beobachtet hat, bleibt uns unbekannt, während doch die Art der Bestimmung des Minimum nicht gleichgültig sein kann.

Die oben erwähnten Experimente zum Studium des Verhältnisses zwischen Potential und Widerstand einerseits, zwischen Zuckung und Elektrizitätsquantität andererseits, scheinen uns genügend zu beweisen, dass Herrn Hoorweg's Formel nicht so leicht als „allgemeines Grundgesetz der elektrischen Nervenerregung" angenommen werden kann, wenigstens was die Nervenerregung vermittelst Condensatorentladungen betrifft.


Fig. 1.
Fig. 2.
Sclera
Fig. 3.
Fig. 4.
Fig. 5.
Fig. 6.
Fig. 7.
Fig. 8.
Fig. 9.

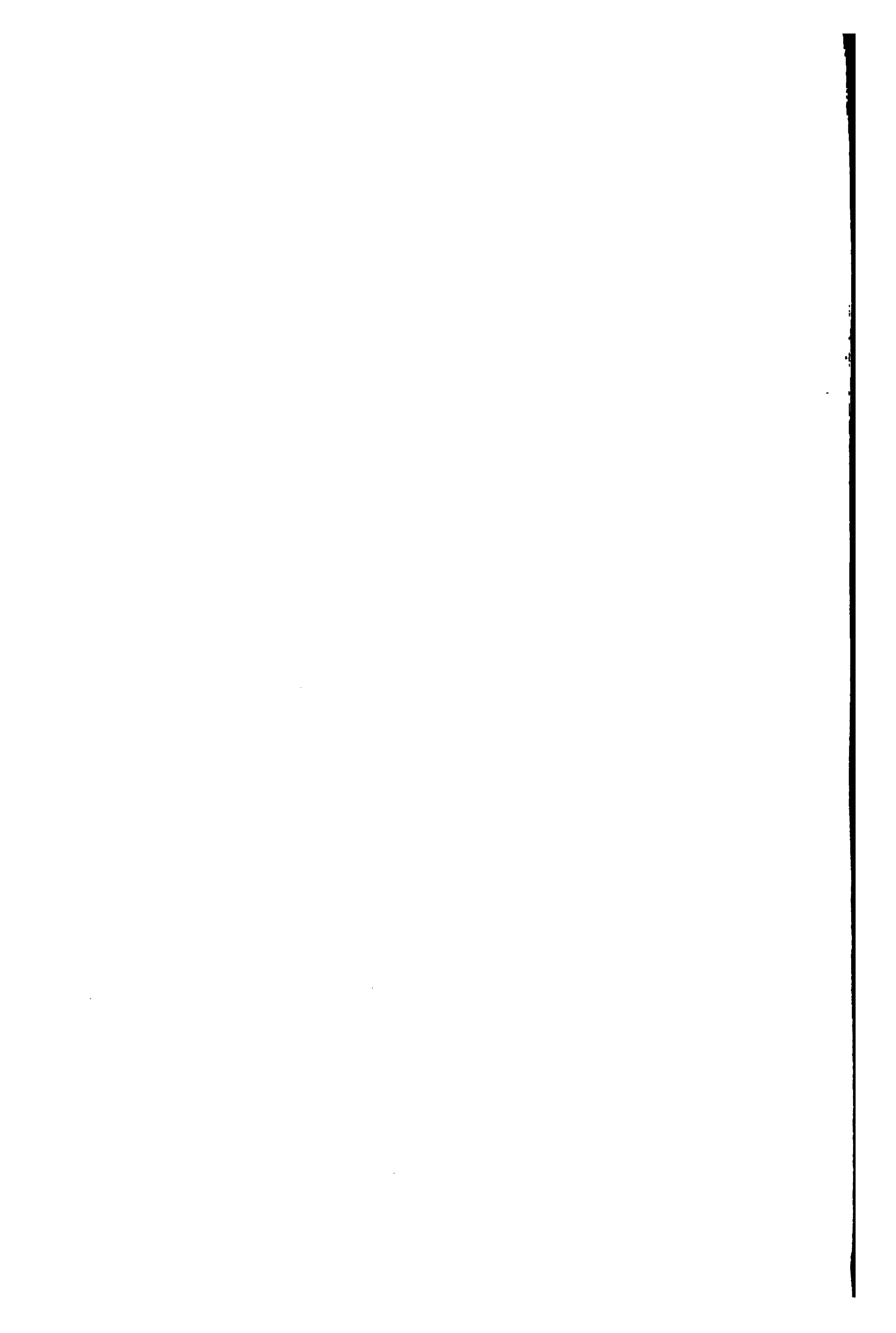


Fig. 11.

Fig 10.

Fig. 12.

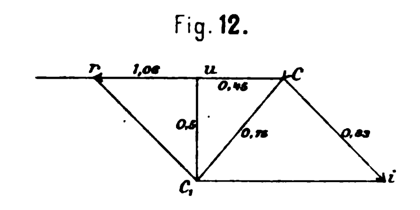
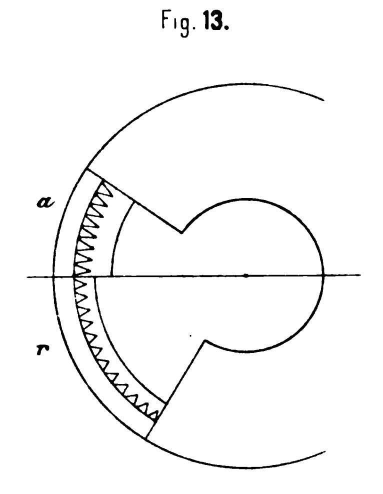


Fig. 13.



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt
Verlag v. Emil Strauss, Bonn

Der Accommodationsmechanismus.

Von

Dr. **Wilhelm Schoen,**
Leipzig.

Hierzu Tafel IV und V.

Ueber den Accommodationsmechanismus wurden bereits soviel Hypothesen aufgestellt, dass der Physiologe sich dem Thema gegenüber ziemlich kühl verhält. Vor etwa 20 Jahren habe ich mich schon einmal mit dieser Frage beschäftigt, weil mir die physikalische Folgerichtigkeit der Helmholtz'schen Theorie nicht einleuchten wollte, liess sie dann aber wieder auf sich beruhen. Es erschien von keiner grossen Wichtigkeit, ob die Hypothese so oder ein wenig anders lautete, weil es doch einmal nicht möglich war, den Vorgang klipp und klar vor Augen hinzustellen. Erst 10 Jahre später sah sich der Ophthalmologe genöthigt, diese gleichgültige Haltung aufzugeben. Mit immer zwingenderer Gewalt wuchs die Ueberzeugung heran, dass der Entstehung des grünen Staares, des Glaukoms, welche Krankheit so vielen Augen verhängnissvoll wird, deren Ursache aber bis dahin noch ganz unbekannt war, mit der Accommodation zusammenhänge. Selbstverständlich wurde nun vor Allem eine klare, den physikalischen, anatomischen, physiologischen und pathologischen Forderungen genügende Vorstellung von der Wirkungsweise der Accommodation erstes Bedürfniss. Bei weiterer Beschäftigung mit dem Stoff führten einmal pathologische Beobachtungen zu Vermuthungen bezüglich der Wirkungsweise der Accommodation, andererseits wurden bisweilen auch so gewonnene Vorstellungen von der Wirkungsweise der Accommodation wieder Veranlassung, an bestimmten Stellen nach pathologischen Veränderungen zu suchen. Zufällige Beobachtungen brachten wesentliche Unterstützung. Allmählich stellte sich heraus, dass andauernde angestrengte Accommodation an mehreren Stellen des Auges anatomische Verzerrungen bewirkt, welche die Ursache der grössten Zahl der, bisher bezüglich der Aetiologie

dunklen, Augenkrankheiten sind[1]). Andererseits entstand ebenso eine Theorie des Accommodationsmechanismus, von welcher ich glaube behaupten zu dürfen, dass sie allen oben angedeuteten Anforderungen genügt. Es lässt sich nicht verkennen, dass die unrichtige Vorstellung vom Wesen des Accommodationsmechanismus die Erkenntniss der Ursache jener Erkrankungen und damit auch deren Verhütung gehindert hat. Namentlich gilt dies von der Annahme der Erschlaffung der Zonula bei der Anspannung der Accommodation.

Die vorliegende Theorie geht also von pathologischen Veränderungen aus. Bei der Darstellung derselben für den physiologischen Standpunkt bin ich einer Aufforderung und Rathschlägen des leider zu früh vorstorbenen Aubert gefolgt, der unter anderem mir schrieb: „In der Abweisung der bisherigen Annahmen haben Sie, meiner Meinung nach, vollkommen Recht, ich bezweifle eben so wenig, dass ihre Hypothese zutreffend und für die Pathologie von höchster Bedeutung ist."

Allgemeine Postulate.

Das physiologische Postulat für eine Theorie des Accommodationsmechanismus fasst Aubert in folgender Frage zusammen: „Wie kann die stärkere Wölbung der vorderen Linsenfläche bei der Accommodation für die Nähe ohne Krümmungsveränderung der hinteren Linsenfläche und ohne Ortsveränderung der Linse zu Stande kommen?"[2]).

Vielleicht dürfte die Forderung noch besser folgendermaassen lauten:

I. Physiologisches Postulat. Wie kann die stärkere Wölbung der vorderen Linsenfläche bei der Accommodation für die Nähe

a) ohne Ortsveränderung und

b) ohne erhebliche Krümmungsveränderung der Hinterfläche,

c) ohne Vorrücken der ganzen Linse und

1) Des Verf.'s Funktionskrankheiten des Auges. Ursache und Verhütung des grauen und grünen Staares. Wiesbaden 1893.

2) Ueber Schoen's Accommodationstheorie. Naturf. G. zu Rostock. Rostocker Zeit. 1888, No. 281.

d) ohne Drucksteigerung in der vorderen Kammer zu Stande kommen.

Die Forderungen a und b sind allgemein bekannt und bedürfen keiner Erläuterung. Was die Forderungen c und d betrifft, so kann bezüglich des Augendrucks wenigstens eins mit Sicherheit behauptet werden, nämlich: dass eine Drucksteigerung in der vorderen Kammer beim Accommodationsakt nicht stattfindet.

„Nach der Punction einer conischen Cornea, welche indess keine vollständige Entleerung des Kammerwassers bewirkt hatte, collabirte dieselbe zu einer Grube beim Blick in die Nähe und wurde convex beim Blick in die Ferne.“ „Bei einer 35 Jahre alten Frau mit einem stecknadelknopfgrossen, perforirenden Hornhautgeschwür erschien nach Abkappung des kleinen Irisvorfalles das Hornhautreflexbild mit Deutlichkeit grösser beim Blick in die Nähe und kleiner beim Fixiren eines fernen Gegenstandes.“ Mit Recht legt Arlt diesen beiden Beobachtungen Förster's[1]) den Werth physiologischer Experimente bei.

Thierexperimente über den Augendruck haben keinen grossen Werth, weil die Methoden der Zartheit der Theile gegenüber zu roh bleiben, doch mag immerhin erwähnt werden, dass ich selbst bei electrischer Reizung der Ciliarnerven oder bei Anwendung von Eserin niemals Druckerhöhung in der vorderen Kammer erhielt und dass auch alle übrigen Experimentatoren in diesem Punkte übereinstimmen. Die Abwesenheit der Drucksteigerung in der vorderen Kammer schliesst das Vorrücken der Linse in toto aus.

II. Das anatomische Postulat, welches fordert, dass die zum Behufe der Theorie gemachten Annahmen mit den anatomischen Verhältnissen in Einklang stehen müssen, wird hier nur als Ganzes angeführt. Die anatomischen Grundlagen, worauf sich jede Theorie aufzubauen hat, werden in einem besonderen Abschnitt dargelegt.

III. Das physikalische Postulat, dass die Annahmen nach den Gesetzen der Mechanik und Hydrostatik möglich sein müssen, ist selbstverständlich. Der Accommodationsmechanismus ist ein hydrostatisches Problem.

IV. Das pathologische Postulat. Wie sind die in Augen, welche lange Jahre hindurch ihre Accommodation in hohem Grade überangestrengt haben, regelmässig beobachteten anatomischen Verzerrungserscheinungen a) am Sehnerven und dessen Scheide, b) an der Linsenkapsel, c) an der sogenannten Ora serrata zu erklären?

---

1) Klin. Monatsbl. f. Aug. 1864. S. 368.

Einzel-Postulate.

V. Wie können Krümmungsvermehrungen der Vorderfläche bis zu 5 mm Halbmesser herab erklärt werden, die thatsächlich bei Uebersichtigen vorkommen?

VI. Wie ist die Entstehung der Weitsichtigkeit zu erklären?

VII. Wie ist asymmetrische oder astigmatische Accommodation zu erklären?

Es ist ein lebhafter Kampf darüber entbrannt, ob mittelst physiologischen Versuches astigmatisch accommodirt werden könne oder nicht. Selbst wenn die Verneinung Recht behielte, würde dies Nichts beweisen, da die Beobachtungen an Kranken das Vorkommen astigmatischer Accommodation in grossem Maassstabe und in grosser Häufigkeit ganz zweifellos zeigen. Sie wird aber erst in vielen Jahren erlernt. Das physiologische Experiment würde wohl auch positiv ausfallen, wenn die Versuchsperson die Cylindergläser längere Zeit trüge[1]), denn es handelt sich nicht um ein bewusstes Einüben, wo der Betreffende weiss, welchen Muskelstrang er zu innerviren hat, sondern um ein völlig unbewusstes, etwa in der Art, wie eine Sängerin den Kehlkopfmuskeln durch Einübung von Koloraturen allmählich eine ungewöhnliche Gelenkigkeit beibringt. Eine Innervationsabschattung wird zuerst zufällig getroffen und stellt sich nachher regelmässig ein.

VIII. Wie wird die Annahme des kugeligeren Ruhezustandes der Linse möglich, für welche Helmholtz eine Reihe von Gründen beigebracht hat? Becker[2]) fordert, dass eine Theorie wenigstens die Thatsache erkläre, dass die Eigenform der Linse eine kugeligere sei, als die der Fernstellung.

IX. Wie kommt die Präcision und Schnelligkeit der optischen Einstellung zu Stande? Auf die erstere legte Coccius besonderen Werth. Er glaubte nicht, dass die Helmholtz'sche Theorie dieser Forderung gerecht werden könne[3]).

Es bestehen Meinungsverschiedenheiten darüber, ob die Ferneinstellung oder die Naheinstellung schneller erfolgt, daher lässt sich in Bezug hierauf kein Postulat aufstellen. Am Schluss werden die verschiedenen Meinungen besprochen werden.

---

1) Etwa 6—12 Monate Konkavcylinder von 20″ Brennweite, Axen senkrecht, wozu ich übrigens nicht rathen möchte.

2) Lage und Funktion der Ciliarfortsätze. Wiener mediz. Jahrb. XX, 1. S. 13, 1864.

3) Der Mechanismus der Accommodation. Leipzig. Teubner. 1868. S. 39.

X. Wie erklären sich die von Becker[1]) und Coccius[2]) gemachten Beobachtungen über die Stellung der Ciliarfortsätze? Allerdings widersprechen sich beide Forscher und vorläufig muss es daher den Anschein haben, als wenn nur einer von Beiden Recht haben könnte.

Nach Coccius (Fig. 13) schieben sich die Ciliarfortsätze bei der Naheinstellung *a* gegen die Axe hin vor, während sie nach Becker im Gegentheil weiter nach der Peripherie hin zurücktreten.

(Die nachfolgenden Postulate XI—XX enthalten sämmtliche Sätze, welche Hensen u. Völkers[3]) aus ihren Beobachtungen am Hunde bei Reizung der Ciliarnerven gezogen haben. Sie sind grösstentheils im Wortlaut, nur einige Male abgekürzt, wiedergegeben.)

XI. „Die Accommodation findet auch nach Entfernung der Iris statt."

XII. „Bei der Accommodation wölbt sich die Linse auch ein wenig nach hinten vor."

XIII. „Stemmt man von hinten her gegen die Zonula Zinnii einen langen und dicken Glasfaden derart an, dass er die Zonula etwas spannt und lässt accommodiren, so macht er eine Bewegung, welche anzeigt, dass bei der Innervation die Zonula seinem Drucke weicht, also schlaffer wird, während der Faden bei Nachlass der Accommodation wieder zurückgedrängt wird."

XIV. „Ein künstlich erzeugter Glaskörperbruch wölbt sich bei der Accommodation stärker vor und flacht sich beim Nachlasse derselben ab, sodass jedenfalls doch eine kleine Druckvermehrung im Glaskörper sich bei der Muskelkontraktion geltend macht."

„Wenn man die Linse entfernt, so wölbt sich die tellerförmige Grube convex vor. Diese Wölbung wird viel bedeutender, sobald man den Nerven reizt, und flacht sich sogleich wieder ab, sowie der Reiz aufhört."

Dasselbe lehren übrigens auch Beobachtungen an Kranken, bei denen durch Verletzung, einen Stoss u. s. w., die Zonula an einer Stelle zerrissen ist. Es wölbt sich der Glaskörper vor und drängt auch die Iris an dieser Stelle nach vorn.

---

1) Ueber Lage und Funktion der Ciliarfortsätze. Medizinische Jahrbücher XIX, 2. B. Wien. S. 162.

2) Der Mechanismus der Accommodation. S. 10.

3) Studien über die Accommodation. Centralbl. f. die mediz. W. 1866, No. 46.

XV. „Schneidet man am hinteren Pol ein Fenster in die Sclera, so buchtet sich in der Fernstellung die Chorioidea ein wenig vor. Diese Vorbuchtung zieht sich bei der Accommodation stark ein."

XVI. „Sticht man eine sehr feine Nadel am Aequator des Auges durch die Sclera in die Aderhaut, so giebt dieselbe sehr starke Ausschläge im Sinne der Verschiebung nach vorn, während eine gleichzeitig in den Muskel eingestochene Nadel unbewegt bleibt."

XVII. „Legt man den Muskel selbst frei, so bemerkt man bei der Innervation eine so deutliche Einziehung, als wenn es sich um einen Ringmuskel (der dem Hunde fehlt) handelte, während hinter ihm die etwa noch freigelegte Chorioidea oder der Glaskörper sich vorwölbt, sodass hier bei Schluss und Oeffnung des Stromkreises ein wechselndes Spiel der Ein- und Ausstülpung zu beobachten ist."

XVIII. „Bei der Accommodation bewegt sich die Peripherie der Iris nach rückwärts." „Entfernt man die ganze Hornhaut, so sieht man, dass bei der Accommodation die Iriswurzel vom Hornhautrande weit abgezogen und das Ligamentum pectinatum gespannt wird, trotzdem keine Flüssigkeit mehr vorhanden ist, welche abdrängen könnte."

XIX. Der Hornhautrand wird bei der Accommodation stark rückwärts gezogen. „Es zieht also der Musculus ciliaris vorn am Hornhautrande."

XX. „Bei allen Accommodationserscheinungen gilt die Regel, dass der Uebergang in den activen Zustand (Nahestellung) langsamer erfolgt, wie das Zurückweichen zur Accommodation für die Ferne" (vergl. auch Postulat IX).

Anatomische Grundlagen.

Die in den Lehrbüchern betreff der Anatomie der Zonula vertretenen Anschauungen haben gemeinsam, dass sie nur ein Zonulablatt annehmen; sonst weichen sie beträchtlich von einander ab.

Der erste Typus ist der Helmholtz'sche. — In das einzige Zonulablatt werden durch die Ciliarfortsätze Falten hineingedrückt. So gefaltet setzt es sich auf der Linsenkapsel an. Sein Ansatz bildet daher auf derselben eine Schlangenlinie, welche von vorne nach hinten und umgekehrt über den Aequator der Linse weg hin und her läuft.

Der zweite Typus, welcher vielfach vertreten ist, lässt einen dicken Zonulastrang vom vorderen Ende des Ciliarfort-

satzes nach dem Linsenaequator laufen. Das vordere Ende des Ciliarfortsatzes ist die Ursprungsstelle des Zonulastranges,

Den dritten Typus geben Abbildungen von Henle und Donders wieder. Der einzige Zonulastrang läuft im Bogen mit der Concavität nach vorn über die Ciliarfortsätze zur vorderen Linsenkapsel.

Sämmtliche Typen kennen eine Hyaloidea, welche hinter den Ciliarfortsätzen den Ciliarkörper verlässt und in nach vorn convexem Bogen zur hinteren Linsenkapsel verläuft.

Die beiden ersten Annahmen sind so vollkommen unrichtig, dass es geradezu unbegreiflich ist, wie sie immer wieder in den Lehrbüchern abgebildet werden können. Was die dritte Ansicht behauptet, ist richtig; doch bleibt sie wegen Annahme eines einzigen Zonulastranges unvollständig.

Der Verlauf der Zonulafasern.

1) In Wirklichkeit besteht der freie Theil der Zonula aus 3 Strängen, einem vorderen, mittleren und hinteren, welche unmittelbar hinter dem Ciliarfortsatz auseinander laufen (s. Fig. 2).

2) Der vordere *v* ist identisch mit dem einzigen des dritten Typus. Er läuft in nach vorn concavem Bogen über den Ciliarfortsatz zur vorderen Kapsel, in welche er sich tangential etwa 1 mm vor dem Linsenaequator einsetzt.

3) Der mittlere Strang *m* besteht aus einzelnen Fasern, welche sich senkrecht zur Kapsel unmittelbar hinter dem Aequator einsetzen.

4) Der hintere Strang *hy* liegt dicht der Hyaloidea *h* an, verläuft in einem nach vorn convexem Bogen und setzt sich tangential in die hintere Kapsel, 1 mm hinter dem Aequator.

5) Sämmtliche Stränge bestehen aus nebeneinander liegenden getrennten Fasern.

6) Der Petit'sche Raum ist daher nur nach hinten durch die Hyaloidea begrenzt, nach vorn steht er zwischen den Fasern des vorderen Stranges hindurch mit der hinteren Kammer in Verbindung.

7) Dicht hinter dem Ciliarfortsatz findet eine Kreuzung der Zonulafasern statt (s. auch weiter unten).

8) Die Zonulafasern sind mit dem Ciliarfortsatz nicht verwachsen, sondern ziehen in dichtem Strange *z* über denselben fort nach hinten (s. auch weiter unten).

Der Ursprung der Zonulafasern.

9) Die Zonulafasern entspringen aus der Netzhaut und dem dieselbe fortsetzenden Ciliarepithel, oder es bilden vielmehr die Zonulafasern zusammen mit den Epithelzellen die Fortsetzung der Netzhaut.

10) Die Hyaloidea läuft unabhängig über die Zonulafasern fort und hat mit denselben Nichts zu thun. Ungenügendes Auseinanderhalten beider Gebilde ist der richtigen Erkenntniss hinderlich gewesen.

10) An der sogenannten Ora serrata geht die Netzhaut in ein einschichtiges Cylinderepithel, *b* Fig. 3, über[1]), welches dem Chorioidealepithel bis zur Iris hin aufliegt. *Jede Cylinderepithelzelle sendet einen Fortsatz aus, welcher sich mit dem der Nachbarzellen vereinigt. Allmählich schwellen diese Faservereinigungen zu Zonulafasern* an und bilden die tiefere Schicht derselben.

11) An der sogenannten Ora serrata, *o* s. Fig. 2 u. 3, geht im normalen Auge (Auge junger Kinder) die Netzhaut mit sanfter Abdachung in das Ciliarepithel über. Das Netzhautgewebe besteht hier nur noch aus Stützfasern oder richtiger aus mehreren Reihen dicht aneinanderliegender, unter sich verfilzter Zellen. Ihre Kerne bilden merkbar zwei gegen die Ora hin convergirende Reihen. Einzelne Zellhaufen treten über die Netzhaut hervor und bilden kleine Zöttchen. *Alle diese Zellen senden Ausläufer aus, wie sie oben bei den Epithelzellen beschrieben sind, die sich aneinanderlegen und zu den oberen Zonulafasern werden.*

12) Die Zonulafasern entspringen also aus der Ora serrata und dem Ciliarepithel. Sie sind nichts Anderes als in die Länge gezogene Stützfasern. Die Zonula selbst ist Netzhaut. Die Linsenkapsel ist mit der Netzhaut verwachsen.

13) Beobachtungen an kranken Augen erweckten Zweifel darüber, ob das physiologische Bild, welches die Lehrbücher von der normalen Ora serrata entwerfen, wirklich physiologisch sei. Die Untersuchung von Augen neugeborener und junger Kinder ergab denn auch, *dass im normalen Kinderauge die Zähne, welche der Ora serrata den Namen gegeben haben, nicht vorhanden sind.* Diese mit blossem

1) In Fig. 2 die dunkle Linie.

Auge sichtbaren vermeintlichen physiologischen Zähne sind sehr schön abgebildet Henle Eingeweidelehre S. 613 Fig. 466 und S. 669 Fig. 517. Die Zahl dieser Zähne beträgt ungefähr 40, z. B. auf der angeführten Fig. 466 = 39.

14) Im normalen Kinderauge ist die Uebergangslinie der Netzhaut makroskopisch ganz gerade. Mikroskopisch zeigt sie die schon beschriebenen ganz kleinen Zöttchen, von denen aber 20 auf den Raum eines jener Zähne kommen. Es kann somit glücklicherweise der Name Ora serrata beibehalten werden, nur muss man damit den Begriff von etwa 800 kleinen Zähnchen nicht dem von 39—45 der bisherigen makroskopisch sichtbaren Zähne verbinden.

15) Die makroskopisch sichtbaren Zähne sind während des Lebens erworben und stellen eine accommodative Verzerrungserscheinung dar. Näheres darüber wird an anderer Stelle berichtet werden.

16) Die von hinten, von der Netzhaut kommenden Zonulafasern, die oberen, verlaufen hauptsächlich zur Vorderkapsel, die mehr vorne vom Ciliarepithel entspringenden mehr zur hinteren Kapsel, so dass gegenüber dem inneren Ciliarkörperwinkel eine Kreuzung stattfindet. Ob der Kreuzung ein Entwickelungsgesetz zu Grunde liegt, muss noch unentschieden bleiben.

17) Die Zonulafasern sind mit dem Ciliarfortsatz, den davon entspringenden ausgenommen, nicht verwachsen, aber durch die Vorsprünge desselben hindurch geflochten so, dass sie nur unter starker Reibung entlang gleiten können. Die Zonulafasern bilden von der Ora an bis zu den Ciliarfortsätzen auf Flächenpräparaten ein dichtes Gitter paralleler, mit Haematoxylineosin sich leicht röthlich färbender Fäden.

Die Ciliarmuskelfasern.

18) Die Ciliarmuskelfasern zerfallen in drei Gruppen.

I. Die Ringfasern im inneren Ciliarkörperwinkel *r* Fig. 2.

II. Die inneren Meridionalfasern *i*, welche, im Ciliarkörperwinkel, an der Iriswurzel und längs der Ausbuchtung der vorderen Kammer entspringen.

III. Die äusseren Meridionalfasern *ä*, welche vom Canalis Schlemmii entspringen.

19) Beide Meridionalfasergruppen gehen in Sehnenfasern über,

welche mit den elastischen Lamellen der Lamina fusca und suprachorioidea identisch sind, den ganzen Augenkern umfassen und sich in die Sehnervenscheide zwischen Chorioidea und Netzhaut einsenken.

20) Vorderer und hinterer Ansatzpunkt der äusseren Meridionalfasern ist verhältnissmässig fest. Ihre Zusammenziehung wird also eine Steigerung des Drucks auf den Glaskörper ausüben; da aber die Muskelfasern alle vorne sitzen, müssen die Sehnenfasern auch etwas nach vorne gleiten.

21) Der hintere Ansatzpunkt der inneren Meridionalfasern ist verhältnissmässig fest, der vordere verhältnissmässig beweglich. Ihre Zusammenziehung wird den inneren Ciliarkörperwinkel nach rückwärts ziehen.

22) Das Amt der äusseren Meridionalfasern ist hauptsächlich Regelung des Drucks im Auge durch ihren Tonus.

23) Die inneren haben erstens dasselbe Amt für den aus Glaskörper und Linse bestehenden Augenkern; weiter dienen sie dazu, die inneren Ciliarkörperwinkel an richtiger Stelle und die Linse in bestimmter optischer Entfernung zu erhalten.

24) Da der Tonus der Meridionalfasern den Glaskörperdruck trägt, werden die Schwankungen, die derselbe durch den Puls erleidet, leicht ausgeglichen und ist Letzterer unter normalen Verhältnissen nicht fühlbar, was der Fall sein müsste, wenn er in einen starren Raum einträte.

Die Accommodationstheorien gegenüber den Postulaten.

Alle in den Lehrbüchern vertretenen Theorien lehnen sich an die Helmholtz'sche, obgleich nicht ohne Veränderungen an. Gemeinsam sind ihnen die hypothetischen Annahmen, dass

1) die Anspannung der Accommodation durch Entspannung der Zonulafasern und
2) die Verdickung der Linse lediglich durch das Bestreben derselben, in ihre Eigenform zurückzukehren, bewirkt wird, und somit
3) dass die Eigenform der Linse die kugeligere ist.

Die zweite Gruppe von Theorien nimmt einen Druck an, welchen der Ciliarmuskel auf die Linse mittelbar oder unmittelbar ausübt.

A. Erste Theoriengruppe: Vorziehung der Zonula.

A.a. Vorziehung der Zonula und Entspannung der Zonula durch die Meridionalfasern.

Die treibende Kraft bei der Einstellung für die Nähe ist in allen Theorien der ersten Gruppe das Bestreben der Linse, in ihren kugeligeren Ruhezustand überzugehen. Diese Kraft ist in Fig. 4 mit *D*, die Richtungen, in welchen sie sich äussert, durch ungeflügelte Pfeile ↑ bezeichnet. Bei der Fernstellung wird die Linse vermittelst der Zonula durch elastischen Zug platt gedrückt erhalten. Dies setzt eine in der Richtung der einfach geflügelten Pfeile ↑ etwa nach Art von Federn wirkende Kraft *S* voraus. Damit die Endpunkte *AA* sich nicht einander nähern können, müssen die Wände *WW* durch eine Kraft *F* auseinander gehalten werden. Die drei Kräfte *D*, *S* und *F* bilden somit die drei Bedingungen, welche die Ferneinstellung nach der Helmholtz'schen Theorie ermöglichen. Die Naheeinstellung wird endlich durch eine vierte Kraft *MM* herbeigeführt, welche die Punkte *aa* einander zu nähern vermag.

Wird jetzt statt der Wände *WW* ein starrer Rahmen *RPR* (Fig. 5) eingeführt und um diesen ein Theil des Gebildes *AA* herumgeschlagen, so dass sich die beiden Enden desselben bei *P* begegnen, dann ändert sich augenscheinlich nichts bezüglich der vier nothwendigen Kräfte, nur wirkt die Kraft *F* jetzt allein auf der einen Seite, um sich dem nur auf dieser Seite von den Kräften *D*, *S* und *M* ausgeübten concentrischen Druck entgegenzustemmen. Unter Voraussetzung des festen Rahmens *RPR*, der starr durch die Kraft *F* auseinander gehalten wird, könnte der Accommodationsapparat genau nach der Helmholtz'schen Theorie arbeiten. Die Kraft *M* zieht den hinteren Ansatzpunkt *a* der Zonula nach vorn, hebt die Kraft *S* auf und die Kraft *D* wird frei.

In Wirklichkeit ist aber der starre Rahmen *RPR* nicht vorhanden.

Die Sclera ist kein festes Gehäuse, zwischen dessen Wänden die Zonula ausgespannt ist. Vielmehr wird der Bulbus durch seinen Inhalt prall ausgedehnt erhalten. Bei Glaskörperverlust wird das Auge weich. Dasselbe geschieht, wenn man mit einer Spritze beim Thiere Glaskörper entnimmt. Gleichzeitig sinkt das Linsensystem nach rückwärts. Spritzt man umgekehrt Flüssigkeit in den Glas-

körper ein, so wird das Auge härter und das Linsensystem rückt nach vorn.

An die Stelle des starren Rahmens *RPR* hat somit der Glaskörperdruck zu treten, welcher von *O* (Fig. 6) aus centrifugal nach allen Richtungen wirkt. Derselbe ist eine Funktion des Blutdrucks. Es lässt sich leicht übersehen, welche Aenderungen in der Lagerung des Linsensystems, das gleichsam auf einem Wasserkissen ruht, eintreten müssen. Auch die Folgen einer Steigerung oder Verminderung des Glaskörperdrucks sind ohne Weiteres verständlich. Unter allen Umständen wird die Linse immer so weit abgeflacht werden und die elastischen Einschaltungen bei *SS* soweit gedehnt werden, bis die Spannung in dem Ringe dem Glaskörperdruck genau die Waage hält, dass also immer $S + D = F$ bleibt. Die Spannung der Zonula in der Fernstellung beruht also ganz allein auf dem Glaskörperdruck. Tritt jetzt die Kraft *M* in Wirksamkeit, so strebt dieselbe den Glaskörperraum zusammenzudrücken und zu verengern, und die Krümmung des Bogens *MaP* zu vermindern. Der Druck in der Richtung auf *O* wird centripetal gesteigert. Die Steigerung pflanzt sich nach allen Richtungen fort und das Linsensystem wird mit einer im gleichen Verhältniss gesteigerten Kraft vorwärts gedrängt. Es gilt jetzt: $S + D + M = F + dF$. Jedes Erschlaffen der Zonula von *a* bis *c* ist folglich ganz unmöglich, da ja der Glaskörperdruck, von welchem die Spannung der Zonula einzig abhängt, nicht herabgesetzt, sondern gesteigert ist; das vordere Zonulablatt wird im Gegentheil noch stärker gespannt.

Vorstehende Darlegung beweist die prinzipielle Unmöglichkeit, dass die Zonula überhaupt schlaffer wird, als sie vor dem Wirksamwerden der Kraft *M* war. Man hat die Theorie durch die Annahme retten wollen, die Zonula erschlaffe nicht vollständig, sondern nur ein wenig. Dieses wenig ist ebenso unmöglich.

Die Spannung der Zonulafasern *ac* beruht eben allein auf dem Glaskörperdruck, wie auch die Punkte *a* und *c* einzig durch diesen von einander getrennt gehalten werden. Die Wandung oder ein Theil derselben kann nur erschlaffen, wenn entweder der Inhalt vermindert oder wenn ein Theil der Wandung durch einen engeren ersetzt würde. Denkt man sich z. B. die beiden *aM* vor der Linse zu einem zusammenhängenden Kreisbogen *MVM* (Fig. 7) vereinigt, so würde eine Verengerung dieses Bogens in der That den ganzen eingeschlossenen Bogen *acDca* erschlaffen. Das blosse Vorziehen des einen End-

punktes *a*, während der andere *D* nicht am Ausweichen gehindert ist, kann niemals eine Erschlaffung von *ac* zur Folge haben. Ein Grund, weshalb die Linse nicht vorrücken sollte, ist aber nicht vorhanden. Diese Theorie wird also dem physikalischen Postulat nicht gerecht.

A. b. Vorziehung und Entspannung der Zonula durch die Ringfasern.

Die Anhänger des zweiten anatomischen Typus sahen sich zu einer Veränderung der Helmholtz'schen Theorie veranlasst. Diesem Typus entspricht die Fig. 4, wo die Kraft *F* noch links und rechts des Accommodationsgebildes *AA* die Wände *WW* auseinander hält. Der Raum links würde der vorderen und hinteren Kammer, derjenige rechts dem Glaskörperraum entsprechen. Die Zusammenziehung von *MM* steigert den Zug bei *AA*. Es greift hier dieselbe Ueberlegung wie bei der reinen Helmholtz'schen Theorie, jedoch für den Raum hinter und vor der Linse, Platz. Würden die Wände *WW* durch eine starre Kraft auseinander gehalten, so könnte sich der Vorgang in beregter Weise abspielen; ist dies, wie im Auge, nicht der Fall, so müssen sich die Wände einander nähern, bis der Druck in beiden Räumen so weit gestiegen ist, dass die Kraft $F + dF$ wieder das Gleichgewicht aufrecht zu erhalten vermag. Im Ruhezustande war $F = D + S$, jetzt müsste sein $F + dF = D + S + M$. Im Auge beruht die Spannung der Wände auf dem Inhalt. Nach dieser Theorie könnte die Accommodation nicht ohne Drucksteigerung in der vorderen Kammer vor sich gehen. Auch müsste eine ebenso erhebliche Krümmungsänderung der Hinterfläche wie der Vorderfläche stattfinden. Endlich entsprechen die anatomischen Annahmen nicht den wirklichen Verhältnissen, wie schon oben bemerkt wurde.

In keiner von beiden Gestalten genügt somit diese Haupttheorie dem physiologischen Postulat, ausserdem in der ersten Gestalt nicht dem physikalischen, in der zweiten nicht dem anatomischen. Auf eine von beiden Gestalten lassen sich aber alle Theorien zurückführen, welche Erschlaffung der Zonula beim Accommodationsakt annehmen.

Den drei halbphysiologischen Forderungen V—VII wird die Theorie auch nicht gerecht. Es ist nicht gut möglich, Krümmungsänderungen unter 6 mm Radius allein auf das Bestreben der Linse,

sich zu verdicken, zurückzuführen. Dass sie behufs astigmatischer Accommodation sich unregelmässig verdicken soll, ist erst recht nicht durch dieses Bestreben zum Ruhezustande zu erklären. Das Entstehen der Weitsichtigkeit vermag die Helmholtz'sche Theorie auch nicht durch die einfache Annahme zu erklären, die Linse verliere mit dem Alter ihre Elasticität, da dann erwartet werden müsste, dass sie dauernd ihren Ruhezustand beibehalte. Dieses ist aber die kugeligere Form, also die Nahestellung.

Von den pathologischen Postulaten kann die ursprüngliche Helmholtz'sche Theorie die Zerrung am Sehnerven erklären, die abgeänderte versagt schon hier. Die Zerrungen an der Linsenkapsel und an der Ora serrata vermag keine Theorie zu erklären, welche Erschlaffung der Zonula bei Anspannung der Accommodation voraussetzt.

A. c. Vorziehung der Zonula und Vorrücken der Linse ohne Entspannung der Zonula.

Nachdem die Erklärung der Accommodation durch Erschlaffung der Zonula sich hinfällig erwiesen hat, könnte man sich denken, dass die Muskelwirkung *M* dem aus Linse und Glaskörper bestehenden System statt der Kugelform durch Vorwärtsdrängen der Linse eine mehr längliche Gestalt gäbe und in Folge dessen die am vorderen Ende befindliche Linse eine stärkere gekrümmte Vorderfläche erhielte [1]). Eine solche Annahme würde in sofern folgerichtig sein, als sie erkennt, dass kein Grund vorhanden ist, welcher bei Vorwärtsziehen des hinteren Zonulaansatzes die Linse am Vorrücken hindern könnte. Sie muss aber fallen gelassen werden, da durch die Beobachtungen Förster's u. A. jede Drucksteigerung in der vorderen Kammer und damit ein Vorrücken der ganzen Linse völlig ausgeschlossen ist.

B. Zweite Theoriengruppe: Druck auf die Linse.

Die übrigen Theorien sind nicht in die Lehrbücher gedrungen, unstreitig wegen der ihnen gemeinsamen Annahme eines Druckes auf die Linse, der entweder unmittelbar durch die Iris oder den

1) Ludwig, Phys. I, S. 213. Stellwag v. Carion, Zeitschrift für Aerzte V, Nr. 3 u. 4, 1850.

Ciliarmuskel und die Ciliarfortsätze oder mittelbar unter Fortleitung durch den Canalis Petiti und den Glaskörper ausgeübt werden soll. Ein Druck auf die Linse kann weder durch die Iris, da sie die Seitentheile der Linse nicht erreicht, noch durch die Ciliarfortsätze, da sie die Linse überhaupt nicht erreichen, ausgeübt werden. Zur Fortleitung des Druckes kann auch der Glaskörper nicht dienen, weil er nicht zwischen Ciliarfortsatz und Linse liegt, ebenso wenig der Canalis Petiti, da dieser nicht geschlossen ist, sondern frei mit der hinteren Kammer zusammenhängt.

Eine Reihe von Theorien (B. a.) fügen die Annahme eines Druckes auf die Linse zu den drei Annahmen der Helmholtz'schen Theorie und werden daher hinfällig: einmal aus demselben Grunde wie letztere, zweitens wegen der besprochenen Unmöglichkeit einer Druckwirkung auf die Linse in einer der aufgezählten Weisen. Diese Reihe entspricht der Unterabtheilung A. a der ersten Gruppe. Eine andere Theorieenreihe B. b kennt nur den Druck auf die Linse allein und bildet das Gegenstück zu der Unterabtheilung A. b der ersten Gruppe. Eine Theorie B. c fügt den Druck auf die Linse zu einer Vorhebung der Zonula ohne Entspannung derselben und stellt das Gegenstück zu Unterabtheilung A. c der ersten Gruppe dar. Endlich die letzte B. d fügt denselben zu einer Anspannung der Zonula. Sie hat in der ersten Abtheilung kein Gegenstück.

B. a. Druck auf die Linse zu Vorziehung und Entspannung der Zonula.

H. Müller[1]) hielt die Elasticität der Linse allein nicht für genügend, ihr bei Entspannung der Zonula die nöthige Dicke zu geben, und lässt den Ciliarmuskel die Randtheile der Linse unter Vermittlung des Glaskörpers zusammendrücken. Berlin[2]) sagt: „Die bei der Accommodation für die Nähe von der Spannung der Zonula entlastete und sich in Folge dessen nach vorn wölbende vordere Linsenfläche u. s. w.“, nimmt aber ausserdem noch einen höheren mechanischen Druck an, welcher auf die hintere Linsenfläche bei der Accommodation wirkt.

1) Anat. Beitr. Arch. f. Ophth. III, S. 1.

2) Ueber ablenkenden Linsen-Astigmatismus. Zeitschr. f. vergl. Augenheilk., S. 17.

B. b. Druck auf die Linse allein.

Cramer[1]) lässt den Druck durch die Iris erfolgen, Czermak[2]) durch die mit Blut überfüllten Ciliarfortsätze, Henke[3]) durch die Ciliarfortsätze.

B. c. Druck auf die Linse, Vorhebung der Zonula, Vorrücken der Linse ohne Entspannung der Zonula.

Coccius[4]) meint: „Bei der Contraction des Ciliarmuskels wird 1) die Zonula nach vorn gehoben und gestattet der Linse, sich an ihrer vorderen Fläche stärker zu wölben. 2) Die stärkere Wölbung der Linse findet aber nicht lediglich durch die Elasticität derselben statt, ebenso wenig als die Zonula bei ihrem Vorheben nach vorn erschlafft, sondern in demselben Momente der Bewegung dieser wird der Muskel dicker und zieht nicht bloss die mit der Zonula verbundenen Ciliarfortsätze etwas nach vorn, sondern drückt dieselben an ihrer Wurzel zugleich gegen den untenliegenden vorderen Theil des Glaskörpers. Die Ciliarfortsätze schwellen 3) hierdurch an, und die Linse erhält durch das Dickerwerden des Muskels, die Schwellung der Ciliarfortsätze und die gleichzeitige relative Spannung des Glaskörpers und Petit'schen Raumes einen seitlichen Druck, der sowohl ihre Vorderfläche nach vorn als auch ihre Hinterfläche nach hinten (wenn auch wenig) stärker krümmt."

An einer anderen Stelle heisst es, dass „ausser dem Nachvornziehen der Zonula und der Ciliarfortsätze auch der seitliche Druck der Accommodationstheile durch den Ciliarmuskel hervorzuheben sei". Beim Rückgange in die Fernstellung rücken die Ciliarfortsätze wieder nach hinten.

Das Vorrücken der Ciliarfortsätze, welches auch auf der beigegebenen Zeichnung angedeutet ist, müsste den Druck in der vorderen Kammer steigen lassen. Coccius bestreitet daher auch die thatsächlich vorhandene Druckverringerung. Ein

---

1) Het accommodatie-vermogen. Maatschappij d. Wetensch. Harlem VIII, 1853.

2) Das Accommodationsvermögen. Prager. V. XI B. III 1854, S. 109.

3) Arch. f. O., VI, 2, S. 57.

4) Der Mechanismus der Accommodation, S. 49 u. 151.

Widerspruch scheint auch darin zu liegen, dass trotz des Vorrückens der Ciliarfortsätze mit der Zonula die Hinterfläche sich nach hinten krümmen soll. Die Uebertragung des Druckes durch den Canalis Petiti und den Glaskörper auf die Linse ist, wie gesagt, nicht möglich. Sonst schliesst sich die Theorie an die von Ludwig und Stellwag an (A. c).

B. d. Druck auf die Linse und Anspannung der Zonula.

Mannhardt[1]) betrachtet die hintere Insertion des Muskels als festen Punkt. Iris und Corpus ciliare werden nach hinten gezogen, Folge davon ist: „ein Druck auf den Glaskörper, da wo er sich zu Seiten der Linse hervorwölbt, und auf die Flüssigkeit im Petit'schen Kanal, der ihn auf den Aequator der Linse überträgt". So weit gehört die Mannhardt'sche Theorie zu dieser Gruppe und unterliegt den gegen sie vorgebrachten Bedenken. Namentlich ist zu erinnern, dass der Petit'sche Kanal nach vorne offen ist und keinen Druck fortleiten kann.

C. Dritte Theoriengruppe: Anspannung der Zonula, Aenderung der Richtung derselben und Aenderung des hydrostatischen Druckes.

Die Mannhardt'sche 1858 veröffentlichte Arbeit ist mir bis zum Augenblick der Abfassung dieses Aufsatzes unbekannt geblieben. Ich muss jetzt sagen, dass die Grundgedanken meiner Theorie sich schon bei Mannhardt finden. Derselbe bezeichnet nämlich als weitere Folgen der Zusammenziehung des Ciliarmuskels: „Stärkere Anspannung der Zonula und Aenderung der Richtung derselben zu einer mehr nach hinten verlaufenden, Abnahme des hydrostatischen Druckes in der vorderen Augenkammer und Zunahme desselben im Glaskörper".

Einige anatomische Vorstellungen sind nicht richtig, z. B. über den Verlauf der Zonulafasern, den Petit'schen Kanal u. s. w. Der Grundgedanke dieser Theorie wird durch die Annahme eines Druckes auf Glaskörper, Petit'schen Kanal und Linse verwischt. In den Referaten über dieselbe geschieht daher des Grundgedankens gar keine Erwähnung, die Annahme des Druckes erscheint als das

1) Arch. f. O., IV, 1, S. 281.

Wesentliche und die Theorie erhält ihren Platz neben derjenigen Müller's.

Trotz der Einfachheit meiner eigenen Theorie, versichern Manche, sie nicht verstanden zu haben. Die Schwierigkeit des Verständnisses scheint zu wachsen, je mehr die Betreffenden sich in andere Theorien hineingedacht haben und sie zu verstehen glauben. Ich möchte den Leser daher bitten, die anderen Theorien und den dabei eingewöhnten Gedankengang möglichst bei Seite zu lassen.

Allgemeine Darstellung der Theorie.

Am leichtesten wird man sich in meine Theorie auf folgende Weise hineindenken können (Fig. 8). Man nehme einen mit Luft gefüllten Gummiball zwischen beide Handflächen. Die Handgelenke liegen einander an. Man beuge die 10 Finger so, dass sie den Gummiball in einem Kreise berühren, der, wenn man den frei hervorragenden Pol des Gummiballes mit dem Nordpol des Erdballes vergleicht, etwa dem Polarkreise entsprechen würde. Drückt man die Fingerspitzen in den Ball hinein, so wölbt sich der freie Theil des Balles mit stärkerer Krümmung nach oben heraus. Das ist in nuce meine ganze Accommodationstheorie. Die Wände des Gummiballes zwischen den Handflächen entsprechen der Netzhaut mit dem hinteren Theil der Zonulafasern, die Wände des freien Abschnittes von den Fingerspitzen nach vorne sind der vordere Theil der Zonulafasern und die vordere Linsenkapsel. Die Fingerspitzen sind die Ciliarfortsätze und zugleich die Ringfasern des Ciliarmuskels, die Hände die Meridionalfasern des Ciliarmuskels, die beiden Handgelenke der Opticus. Denkt man sich den Ball durchschnitten (Fig. 9), so sieht man Folgendes: Der untere Theil der Gummihülle ist die Netzhaut *r*, der vordere Theil der Gummihülle ist durch einen Schnitt *caa,c* in zwei Blätter gespalten, das innere Blatt ist nach *ppp* geschoben. In der Tasche zwischen beiden Blättern steckt die Linse *L*. Der Ball ist prall gefüllt. Die Linse bleibt stets gegen die obere Wand desselben angepresst und muss alle Krümmungsänderungen derselben mitmachen. Ihre Eigenform kommt wenig in Betracht, nur elastisch muss die Linse sein, was sie ja auch thatsächlich ist. Die anato-

mischen Verhältnisse entsprechen den gemachten Annahmen vollkommen, denn vordere Kapsel, Zonulafasern und Netzhaut bilden eine dem Gummiball ganz analoge Hülle um Glaskörper und Linse, welche fest an einander gepresst die straff gespannte Kugel ausfüllen. Ciliarmuskelfasern und Aderhaut liegen der Hülle aussen auf, wie die Handflächen dem Gummiball, und die Ciliarfortsätze machen die, übrigens sehr seichte, Einbuchtung wie die Fingerspitzen.

Charakteristisch für meine Theorie ist die primäre Krümmungsänderung des vorderen Zonulabogens, welcher die der Linsenflächen sekundär nachfolgen muss, weil die Linse jenem Bogen stets dicht angepresst bleibt.

Es sei z. B. *CC* (Fig. 10) der Querschnitt eines bei *CC* aufgehängten Netzes. Legt man darauf einen schweren aber elastischen Gegenstand, z. B. einen mit Wasser gefüllten Eisbeutel, so wird sich dessen Oberfläche derjenigen des Netzes *CVC* anpassen. Hängt man dasselbe Netz zwischen C_1C_1 auf, so wird die Oberfläche des Netzes und des Beutels die Krümmung $C_1V_1C_1$ annehmen. In dem gewählten Beispiel drückt die Schwere den Gegenstand gegen das Netz; während die Linse vom Glaskörper beziehentlich dem Blutdruck gegen das vordere Zonulablatt angepresst erhalten wird.

Eingehendere Ausführung einzelner Puncte.

Abweichung vom Schema.

Obgleich die obige Darstellung meine Theorie der Hauptsache nach vollständig wiedergiebt, muss doch auf einige Punkte näher eingegangen werden. Eine wesentliche Aenderung wird dadurch nicht gemacht.

Die Wirklichkeit weicht in zwei Punkten ab: 1) liegen die hinteren den vorderen Zonulafasern in der Fernstellung nicht dicht an, 2) bilden die vorderen Zonulafasern keine geschlossene Haut, den Abschluss des Hinterraumes bewirkt erst die, den hinteren Zonulafasern anliegende Hyaloidea. Denkt man sich *vs* in Fig. 9 mit Löchern versehen und $cpppc_1$ etwas straffer angezogen, so ändert dies augenscheinlich nichts Wesentliches an der Einrichtung. In Fig. 11 ist *VaCZ* die Ruhestellung der vorderen Linsenkapsel des vorderen Zonulastranges und des Ciliarkörpers. Bei der Accom-

modation ziehen sich die Ringfasern und ein wenig die inneren Meridionalfasern zusammen. Das Ergebniss ist die Bewegung des Ciliarfortsatzes in der Richtung des Pfeiles von C nach C_1. Er macht die besprochene Einbuchtung in der Hülle $VaCZ$, so dass diese jetzt die Lage $V_1 a_1 C_1 Z$ einnimmt. Der Unterschied gegenüber dem obigen Schema besteht nur darin, dass die vordere Zonulafaser Ca keinen Flüssigkeitsabschluss des Hinterraumes gegen den Vorderraum (hintere nnd vordere Kammer) bildet, dass der hintere Strang Cb dem vorderen in der Ruhestellung nicht anliegt und erst die innerhalb von $ZCbP$ verlaufende Hyaloidea den Inhalt des Hinterraumes abschliesst. Der Canalis Petiti oder Raum V gehört also zum Vorderraum. Bei der Accommodation bewegt sich das Gitterwerk der vorderen Zonulafasern, vom Humor aqueus umspült, einfach durch diesen Raum hindurch von Ca nach $C_1 a_1$. Die mittleren Zonulafasern legen sich in der Nahestellung den vorderen unmittelbar an. Bei der Bewegung von C nach C_1 nähern sich die Endpunkte des hinteren Zonulastranges. Dieser kann sich einbuchten und der Glaskörper kann in diese Räume eintreten. Das hintere Zonulablatt (hintere Zonula und hintere Kapsel) knickt zwischen den Aufhängepunkten ein, ohne seine Spannung zu verlieren, und hat augenscheinlich gar keinen Einfluss mehr auf die Gestaltung der Linsenflächen. Die Linse bleibt gegen den vorderen Zonulabogen $C_1 V_1 C_1$ gepresst und muss dessen Gestalt annehmen, die Eigenform der Linse mag sein, welche sie will. Die Form der Hinterfläche wird dadurch mitbestimmt. Linse und Glaskörper bilden einen Raum gleichen Druckes, sodass letzterer auf erstere keinen formverändernden Einfluss ausübt.

Tiefe der Einbuchtung.

Die Einbuchtung, welche der Ciliarfortsatz macht, bleibt immer nur seicht und erreicht kaum jemals eine Tiefe von 1 mm oder $^1/_{25}$ bis $^1/_{20}$ des Durchmessers. In dem gewählten Beispiel entspricht die Accommodationsstellung einem in etwa 160 mm gelegenen Fixationspunkte und es misst die Tiefe der Einbuchtung $CC_1 =$ 0,75 mm. Die Bewegung nach innen Cu (Fig. 12) beträgt 0,45 mm, diejenige nach hinten $uC_1 = 0{,}5$ mm. Nach dem Parallelogramm der Kräfte zerlegt, würde sich die Zusammenziehung der inneren Meridionalfasern in der Richtung Ci zu derjenigen der Ringfasern in der Richtung Cr verhalten $= 0{,}83 : 1{,}06 = 4 : 5$. Der Durch-

messer des Ciliarkörpers einschliesslich des Fortsatzes, *SC* dehnt sich um 0,75 oder $^3/_4$ mm bis C_1 aus. Den Stoff giebt das lockere Gewebe und die Menge von Falten ohne Schwierigkeiten her. In die Lücken und zwischen die Falten tritt Humor aqueus aus der hinteren und vorderen Kammer.

Raum-Gewinn und Verlust.

Die bei dem accommodativen Vorgang betheiligten Räume sind mit den römischen Zahlen I bis VII bezeichnet.

Die Linse gewinnt bei der Accommodation den Raum I und büsst II und III ein. Der Verlust muss gleich dem Gewinn, also I = II + III sein. Der Raum V (Canalis Petiti) steht durch die Zwischenräume der vorderen Zonulafasern mit der Hinterkammer in freier Verbindung. Obgleich von den vorderen Zonulafasern überspannt, ist er doch zum Vorderraum zu zählen, da er dorthin gehörigen Inhalt beherbergt. Den Raum IV gewinnt bei der Accommodation der Hinterraum vom Vorderraum. Dagegen büsst der Hinterraum VI und VII ein zu Gunsten des Vorderraumes, dessen Inhalt in die gelockerten Gewebslücken des Ciliarkörpers und zwischen die Ciliarfortsätze eintreten kann. Die Gewinn- und Verlustrechnung gestaltet sich folgendermaassen.

Vorderraum: — I + II — IV + VI + VII
— 9 + 6 — 5,5 + 3,5 + 60 cmm
oder + 69,5 — 14,5 = + 55,0 cmm Raumgewinn.

Hinterraum (einschliesslich Linse): + I — II + IV — VI — VII
+ 9 — 6 + 5,5 — 3,5 — 60
oder — 69,5 + 14,5 = — 55,0 cmm Raumverlust.

Es wurde versucht den Cubikinhalt der einzelnen Räume zu berechnen. Diese Werthe in arabischen Ziffern angegeben, machen selbstverständlich nur geringen Anspruch auf Genauigkeit, können aber doch den Vorstellungen einen Halt bieten. Der Raumverlust ist sicher auf Seiten des Hinterraumes grösser. Dies erhellt auch schon daraus, dass die Kugelform desselben in eine mehr dem Oval genäherte Form übergeht, erstere aber immer mehr Raum bietet als irgend eine andere. Der Inhalt des Hinterraums muss in geringerem Raume untergebracht werden, d. h. er steht unter etwas höherem Druck wie vorher. Wasser lässt sich nicht zusammendrücken, hier handelt es sich aber einmal um thierische Gewebe, andererseits wird mehr Flüssigkeit durch die Hüllen, mehr

Blut durch die Venen aus- und weniger Blut durch die Arterien eintreten.

Rückkehr in die Fernstellung.

Hört die Muskelzusammenziehung auf, so gleicht sich die Einbuchtung ZC_1a_1 aus. Der Inhalt des Hinterraumes strebt der Hülle wieder die Lage $ZCaV$ zu geben, weil diese der Kugelform näher kommt und darum mehr Raum, um 55 cmm, bietet; C_1 wird nach C zurückgedrängt. Das Wirksame ist hierbei der unter dem Blutdruck stehende Glaskörperdruck. Die Linse macht wieder die Krümmungsänderung des Zonulabogens nach CVC mit. Die Abflachung der Linse wird unterstützt durch das Anziehen der hinteren Zonulastränge.

Der Einfluss des hintern Zonulablattes[1]).

Die Abflachung der Linse für die Fernstellung hängt nicht ganz allein von der Anschmiegung an den vorderen Zonulabogen ab. Dies würde der Fall sein, wenn die Einrichtung genau so wäre wie in dem Eingangs der leichteren Verständlichkeit wegen vereinfachten Schema. Um dies zu verstehen, denke man sich einmal eine Spritze in den Glaskörperraume eingeführt, mittelst welcher Flüssigkeit hineingepresst und der Druck allmählich erhöht wird. Die Hülle sucht Kugelgestalt anzunehmen, d. h. $ZCbPbCZ$ würde die Lage ZVZ annehmen, wenn dies ginge. Da es nicht geht, so strebt sie die Linse soweit hinauszudrücken als möglich und so viel von derselben in den verfügbaren Petit'schen Raum hineinzudrücken, d. h. sie so weit abzuflachen, als dies irgend erreichbar ist.

Die Punkte CC werden thatsächlich durch den Glaskörperdruck mit ziemlicher Gewalt aus einander gehalten und fliegen in ihre Stellung sofort zurück, so wie die Muskelkraft, welche sie zeitweilig nach C_1C_1 gebracht hatte, zu wirken aufhört. Dabei ziehen sie die hinteren Zonulafasern mit der anliegenden Hyaloidea kräftig an.

Das hintere Zonulablatt ist also keineswegs bedeutungslos. Wenn die den Vorder- vom Hinterraum abschliessende Haut mit

1) Es ist übrigens rathsam, diese Einzelheiten erst ins Auge zu fassen, wenn man mit den Grundzügen der Theorie vertraut geworden ist.

dem vorderen Zonulablatt zusammenfiele, wie im vereinfachten Schema angenommen, so würde eine Bewegung der Ciliarkörper, gleichen Betrages, eine viel geringere Formveränderung der Linse zur Folge haben, als jetzt, wo die Formveränderung ausgeht von dem Plattgedrücktsein zwischen den beiden gespannten Zonulablättern und endigt mit demjenigen Zustande, wo das hintere Zonulablatt zwischen den Aufhängepunkten eingeknickt ist und jeden Einfluss auf die Linse verloren hat.

Die angestrengte Accommodation.

Für die gewöhnliche Accommodation reicht mässige Zusammenziehung der Ring- und noch geringere der inneren Meridionalfasern hin. Die Stärke der Accommodation hängt augenscheinlich ab:

1. Von der Verengerung des Ciliarringes C_1C_1.

2. Von der Gewalt, mit welcher die Linse gegen den vorderen Zonulabogen angepresst und mit letzterem nach vorn vorgetrieben wird.

Wenn sehr starke Accommodation erfolgen soll, dann ziehen sich die Ring- und inneren Meridionalfasern so kräftig wie möglich zusammen, nähern C_1C_1 einander und ziehen sie rückwärts. Der im Glaskörper gesteigerte Druck presst die Linse vorwärts. Bei äusserster Anspannung der Accommodation treten schliesslich noch die äusseren Meridionalfasern zu accommodativem Zweck in Thätigkeit, indem sie allseitig den Glaskörper zusammendrücken. Der Druck pflanzt sich auf die Linse fort und der Zonulabogen wird so weit und so convex wie möglich nach vorn getrieben. Für gewöhnlich haben die äusseren Meridionalfasern nur das Amt, durch ihren Tonus den Druck zu regeln.

Ich nehme somit keine antagonistische Innervation der Ring- und Meridionalfasern an. Becker beleuchtet diese Frage allseitig[1]). Physiologische Experimente liegen darüber nicht vor. Meine Annahme stützt sich auf folgende Gründe: 1. Die inneren Meridionalfasern sind schon bei gewöhnlicher Accommodation mitthätig. 2. In accommodativ angestrengten Augen finden sich regelmässig Zerrungserscheinungen am Ansatz der Meridionalfasersehnen an den Sehnerven vor. 3. Atropin erschlafft die ganze Accommodation und vermag 4. in Glaukombedrohten Augen, wahrscheinlich durch Lähmung des Tonus in den Ciliarmuskelfasern einen acuten Glaukomanfall hervorzurufen.

---

1) a. a. O. S. 19.

Der Tonus und die gewohnheitsmässige Ruhestellung.

Der Tonus in den äusseren Meridionalfasern trägt den Druck des gesammten Augeninhalts, welchen die, durch Opticus, diese Fasern und Hornhaut gebildete Hülle umgiebt. Der Tonus der inneren Meridionalfasern regelt den Druck im Augenkern, welcher von diesen Fasern, der Zonula und der vorderen Linsenkapsel umschlossen ist. Der Tonus in den inneren Meridionalfasern bedingt ausserdem zusammen mit einem leichten Tonus der Ringfasern die Aufrechterhaltung einer geringen Accommodationsspannung. Für gewöhnlich ist nämlich die Accommodation nicht vollständig erschlafft, sie steht nicht auf dem Nullpunkte; dieser leisen Accommodationsspannung entspricht ein schwaches Eindrücken der Zonulafasern durch die Ciliarfortsätze, so dass die ersteren über die letzteren stets mit nach vorn concaver Krümmung fortlaufen. In Augen, die eine ständige starke Accommodation nöthig gehabt haben oder an Accommodationskrampf leiden, ist die Innervation der beiden Faserarten gewohnheitsmässig verstärkt und die Konkavität des vorderen Zonulablattes stärker ausgeprägt. Dieser Zustand macht sich äusserlich kenntlich dadurch, dass die Irisperipherie stark nach rückwärts gezogen ist.

Die Theorie gegenüber den Postulaten.

ad I. Dem physiologischen Haupt-Postulat genügt die Theorie augenscheinlich. Die Ciliarkörperwinkel rücken nach hinten, die vorderen Zonulafasern spannen sich an. Der Hinterraum verkleinert sich. Der Vorderraum vergrössert sich, der Druck darin sinkt. Die Linse in toto rückt nicht vor.

ad II. Die anatomischen Annahmen der Theorie entsprechen, wie schon bemerkt, genau der Wirklichkeit.

ad III. Der physikalische Vorgang ist von der grössten Einfachheit. Die Scheidewand zwischen zwei Räumen ändert ihre Lage. Dadurch wird der Hinterraum ein wenig verkleinert, sein Inhalt unter etwas höheren Druck versetzt und erhält die Oberfläche der Scheidewand, die die beiden Inhalte trennt, eine andere Krümmung.

ad IV. Dem rein pathologischen Postulate wird ebenfalls genügt. Der Druck in der Richtung CC_1 übt eine Zerrung bei a_1 auf die Linsenkapsel und bei Z auf die Ora serrata aus, und die

Zusammenziehung der Meridionalfasern verursacht einen Zug an der Sehnervenscheide.

ad V. Die Leistungen werden nur durch die Muskelkraft begrenzt. Je mehr *C* und *C* nach hinten und innen gedrückt werden, desto stärker krümmen sich Zonulabogen und vordere Linsenfläche. Es sind also die denkbar stärksten Accommodationsleistungen möglich. Dies ist hervorzuheben im Gegensatz zu den Theorien, wo die Rückkehr zur Eigenform die einzige treibende Kraft der Linse darstellt.

ad VI. Mit dem Alter wird die Linse thatsächlich starrer und flacher. Sie lässt sich nicht mehr in die stärker gekrümmte Form hineinpressen. Ein muskelkräftiger Mann vermag aber doch noch zu einer Lebenszeit akkommodative Leistungen auszuführen, welche ein schwächerer im gleichen Alter nicht mehr fertig bringt.

ad VII. Astigmatische Accommodation tritt nur bei angestrengter Accommodation ein. Sie wird leicht erklärt durch stärkere Anspannung der inneren Meridionalfasern in einem Meridian. Der Kranke, welcher aus irgend einem Grunde Schwierigkeit beim Accommodiren verspürt und starker Innervation bedarf, lernt allmählich sich dieselbe in dem einen Meridian zu ersparen und sie auf den Meridian der Lidspalte zu beschränken.

ad VIII. Was die Eigenform der Linse betrifft, über welche vielfach gestritten worden ist, so kann sie sein, welche sie will, flach oder kugelig. Die Linse empfängt das Gesetz ihrer Krümmung von dem vorderen Zonulabogen und kann von demselben in eine stärker und schwächer gekrümmte Gestalt gepresst werden. Bei starker Accommodationsleistung geht die Krümmung höchst wahrscheinlich über die der Eigenform hinaus. Die Hinterfläche richtet sich nach der Vorderfläche, doch ist zu beachten, dass bei der Fernstellung die Linse auch noch zwischen den beiden Zonulablättern flach gepresst wird. Die foetale Linse ist kugelig, diejenige alter Leute sehr flach. Daher ändert die Linse wahrscheinlich allmählich während des Lebens ihre Eigenform.

ad. IX. Die optische Einstellung steht unter völliger Herrschaft der Muskeln. Jeder Aenderung des Zonulabogens schliesst sich gleichzeitig die Aenderung der Linsenoberflächen an.

Es bestehen Meinungsverschiedenheiten darüber, ob die Ferneinstellung schneller erfolgt, oder die Naheinstellung. Hensen u. Völkers, Postulat XX,

behaupten, dass die erstere kürzere, die letztere längere Zeit braucht. Eilhard Schulze[1]) ist derselben Meinung.

Coccius[2]) sah im Gegentheil die Schnelligkeit der Accommodation für die Nähe über die der Accommodation für die Ferne überwiegen.

Schmidt-Rimpler[3]) hat für beide fast gleiche Zeiten, 2,72 Sekunden für die Naheeinstellung und 2,44 Sekunden für die Ferneeinstellung gefunden, wenn dieselbe Konvergenz beibehalten wird. Das letztere Ergebniss passt am besten zu der vorliegenden Theorie, die sich übrigens den beiden anderen Annahmen anpassen lässt. Wird nicht dieselbe Convergenz beibehalten, so dauert, nach Annahme der meisten Autoren die Näheeinstellung länger. Die Deutung des Purkinje-Czermak'schen Accommodationsphänomens bereitet auch keine Schwierigkeit. Dasselbe hängt wahrscheinlich von einer Spannungsänderung des Ansatzes der Zonulafasern an die Ora serrata ab, dies braucht aber nicht nothwendig eine Steigerung zu sein. Plötzlichkeit der Spannungsänderung dürfte die Hauptrolle zukommen. Diese scheint aber, wenn gleichzeitig Aenderung der Convergenz erfolgt, bei der Ferneeinstellung mehr ruckartig zu sein, während sie bei der Näheeinstellung durch die Convergenz verlangsamt wird.

ad X. Endlich scheint sich auch der Widerspruch zwischen den Beobachtungen von Coccius und Becker über die Bewegung der Ciliarfortsätze befriedigend zu lösen. Ersterer untersuchte bei Iridectomirten von vorne in der Richtung des Pfeiles *o*. Ein Blick auf die Figur 11 lehrt, dass in der That, so gesehen, die Veränderungen genauer scheinen müssen, wie sie Coccius (Fig. 13) abbildet. Becker untersuchte albinotische Augen durch die durchscheinende Iris hindurch. Die gewählte Blickrichtung ist wahrscheinlich diejenige des Pfeiles *e* gewesen, da sie für diese Beobtungsart die günstigste ist. So gesehen tritt schon in vorliegender Figur 11, welche ein auf 160 mm accommodirtes Auge vorführt, C_1 etwas gegen C zurück, noch viel mehr wird es an einem stärker accommodirten Auge geschehen. Die beiden sich anscheinend kontradiktorisch gegenüberstehenden Beobachtungen erklären sich aus der vorliegenden Theorie sehr einfach durch Wirkung der Perspektive.

ad XI. Die Iris hat nach vorliegender Theorie mit der Accommodation nichts zu thun.

ad XII. Die geringe Form- und Ortsveränderung der Hinterfläche wurde bei Darstellung der Theorie vernachlässigt, erklärt sich aber ersichtlich sehr leicht.

1) Arch. f. mikr. Anat. III S. 477.

2) a. a. O. S. 151.

3) Eulenburg, Real-Encyclopädie I. S. 158.

ad XIII. Hensen und Völkers kennen nur einen Zonulastrang und sprechen daher von Erschlaffung der Zonula. Wird der Glasfaden gegen *Cb* gelehnt, so muss er bei der Accommodation mit dem sich einbuchtenden hinteren Zonulablatt in den Raum III hineingelangen.

ad XIV. Die bei Kranken nach Zerreissen der Zonula und von Hensen und Völckers in einer perforirenden Wunde beobachtete Vorwölbung des Glaskörpers stimmt [mit dem rechnungsmässigen Raumverlust des Glaskörperraumes bei dem Accommodationsvorgang.

ad XV. Die den ganzen Augeninhalt umfassenden Sehnen der Meridionalfasern müssen die Chorioidea aus der Wunde nach innen ziehen, sobald diese bei der Accommodation sich verkürzen.

ad XVI. Die Muskelmasse beider Meridionalfaserarten liegt vorn. Der vordere Ansatz der äusseren Meridionalfasern ist fest, darum muss die Uebergangstelle dieser Fasern in ihre Sehnen erheblich nach vorn gleiten. Wenn auch weniger ausgesprochen, wird dies der Lage der Muskelmasse wegen, auch bei den inneren der Fall sein. Da die Meridionalfasern zugleich das Amt haben, den Augendruck zu tragen, so ist übrigens nicht jede Innervation und nicht jede Zusammenziehung derselben als eine rein accommodative anzusehen.

ad XVII. Die Bewegung der Ciliarkörperwinkel von *CC* nach C_1C_1 entspricht genau dem Inhalt dieses Postulates.

ad XVIII. Es ist genau das, was man als Folge der Bewegung von *CC* nach C_1C_1 erwarten muss.

ad XIX. Wenn bei angestrengter Accommodation die äusseren Meridionalfasern mit zu Hülfe genommen werden, üben diese an ihrer Ursprungsstelle am Canalis Schlemmii einen Zug auf die Hornhaut aus.

Ueber die Function der unter der Haut liegenden Canalsysteme bei den Selachiern.

Von

Dr. **Sigmund Fuchs,**
Assistenten am physiologischen Institute der Universität Wien.

Hierzu Tafel VI.

Während eines fast halbjährigen Aufenthaltes in der zoologischen Station zu Neapel fand ich mich gelegentlich anatomischer Präparationen an Selachiern, mit welchen ich die oft unfreiwillige Musse ausfüllte, die mir zwischen Untersuchungen ganz anderer Art blieb, vor die Frage gestellt, ob es denn nicht möglich wäre, auf experimentellem Wege etwas über die Function der unter der Haut liegenden Canalsysteme bei diesen Fischen zu ermitteln.

Die hieher gehörigen Bildungen, deren anatomische Kenntniss in eine sehr frühe Zeit zurückreicht, wurden gewöhnlich promiscue unter dem Namen der „Schleimcanäle" zusammengefasst, bis F. Leydig[1]) zeigte, dass dieselben in drei wohl characterisirte Kategorien zerfallen.

Sie erscheinen:

1. Als verzweigte Röhren, die in oder unter der Haut liegen und das System der Seitenlinie, also diese letztere selbst, und ihre Ausläufer zusammensetzen.
2. Als nicht verzweigte Röhren, welche mit einer Erweiterung — Ampulle — blind geschlossen beginnen und sich auf der äusseren Haut öffnen: das System der Lorenzini'schen Ampullen und der Gallertröhren.
3. Als geschlossene Blasen, die also nicht in der Haut ausmünden: die Savi'schen Bläschen.

1) F. Leydig, Beiträge zur mikroskopischen Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Rochen und Haie. Leipzig 1852. p. 36 ff.

Fig. 1.



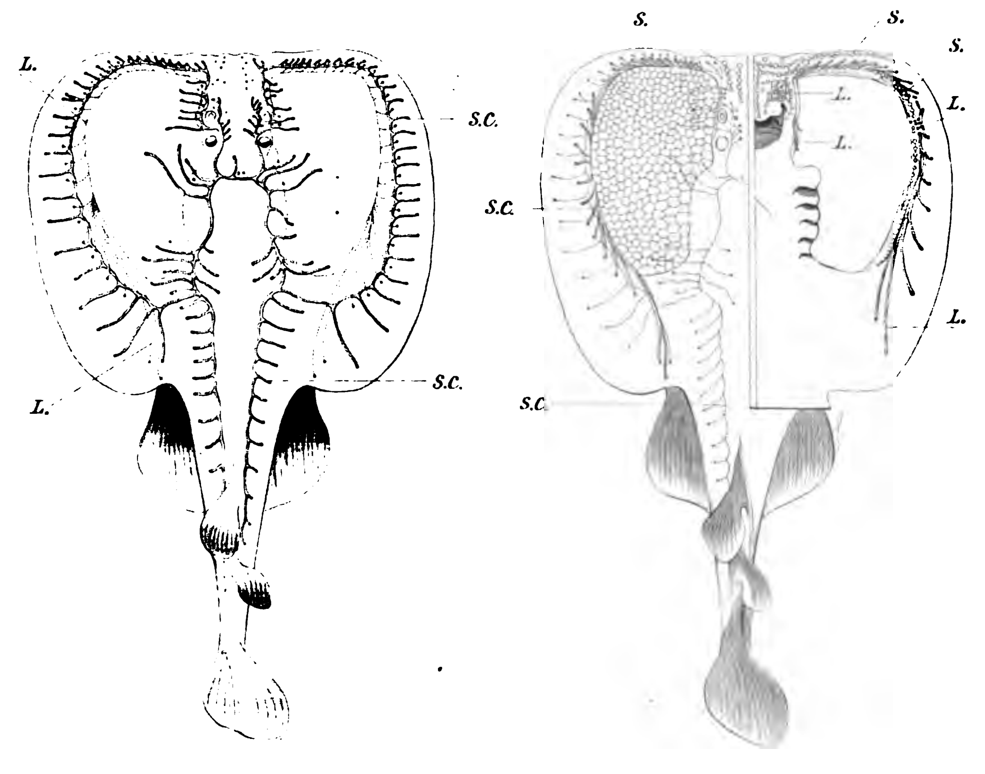
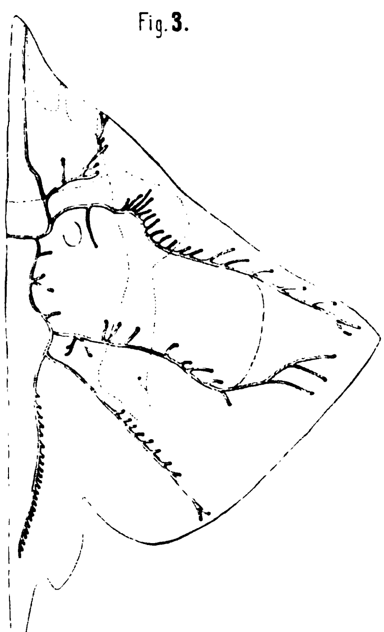
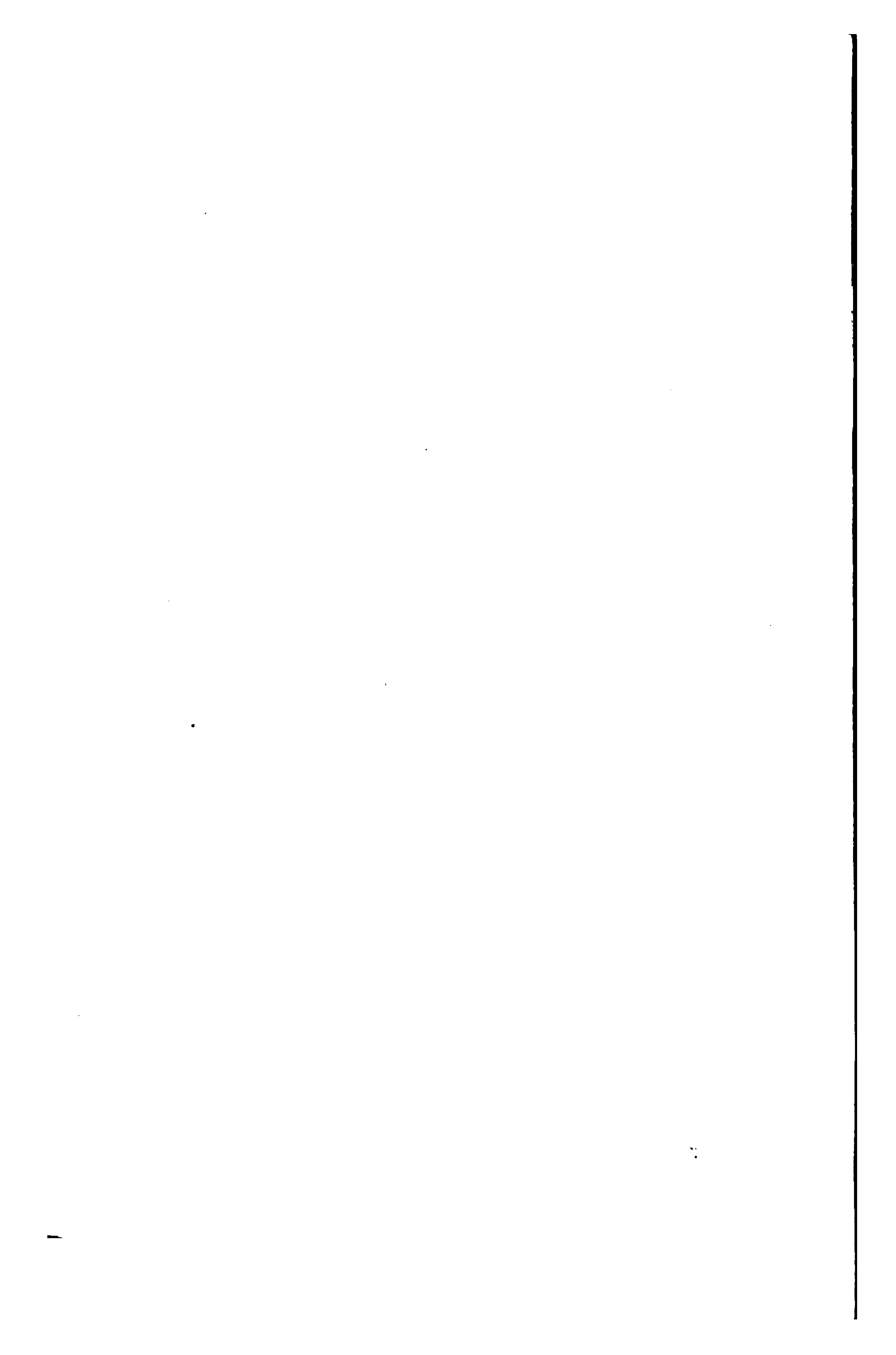


Fig. 3.



Lith. Anst. v. F. Wirtz, Darmstadt.
Verlag v. Emil Strauss, Bonn.



1. Das System des Seitencanales, welches den Rochen, Haien, Chimaeren, Ganoiden und Teleostiern, also fast allen Fischen, zukommt, ist seit der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts nach und nach in seinen morphologischen Einzelheiten bekannt geworden. Zuerst gewahrte man bei Selachiern die Oeffnungen in der Haut, so Stenson[1]) an Rochen und Haien, Lorenzini[2]) am Seitencanale der Torpedineen. Nur kurze Zeit später beschrieb Rivinius[3]) die Poren bei Süsswasserfischen, wobei er angab, dass die Canäle, in welche die Poren führen, oft bis in den Knochen in die Tiefe dringen, und gab Perrault[4]) eine Beschreibung der Organe der Seitenlinie. Von älteren Forschern, welche derselben gedenken, sind dann noch Petit[5]), Deshayes, du Hamel[6]), sowie Koelreuter[7]) und Pallas[8]) zu nennen. Am genauesten hat sie Monro[9]) beschrieben, welcher den Seitencanal und seine Ver-

---

1) Nicol. Stenonis De musculis et glandulis observationum specimen cum epistolis duabus anatomicis. Amstelodami 1664. p. 54.

Desselben Elementorum myologiae specimen seu musculi descriptio geometrica, cui accedunt canis carchariae dissectum caput et dissectus piscis e canum genere. Florentiae 1667. p. 72 u. 112.

2) Osservazioni intorno alle Torpedini fatte da Stefano Lorenzini Fiorentiono e dedicate al Serenissimo Ferdinando III, Principe di Toscana. In Firenze per l'Onofri 1678. Con lic. de' Super. Ich citire den Titel des Buches, das eine grosse bibliographische Seltenheit ist, nach der Arbeit von F. Boll, Ein historischer Beitrag zur Kenntniss von Torpedo (Arch. für Anat. u. s. w. 1874 p. 152). Die Untersuchungen Lorenzini's sind auszugsweise abgedruckt in den Miscellanea curiosa s. Ephemeridum medico-physicorum annus IX et X. 1680. p. 389 und in Valentini's Amphitheatrum zootomicum (Francof. a. M. 1720. II. 110).

3) Rivini, Observatio anatomica circa poros in piscium cute notandos. Acta erudit. Lipsiae 1687. p. 160.

4) Perrault, Oeuvres diverses de Physique et de Mécanique. Leide 1741. Vol. II. p. 478.

5) Petit, Mém. de l'Acad. des sciences. 1733.

6) du Hamel, Traité des Pêches.

7) Koelreuter, Descriptionis piscium variorum etc. continuatio Nov. Comment. Petrop. IX. 1764.

8) Pallas, Spicileg. zool. VII. 1767.

9) Monro, The structure and physiology of fishes explaned and compared with those of man and other animals. Edinburgh 1785. Uebersetzt und mit eigenen Anmerkungen sowie Zusätzen von P. Camper vermehrt von J. G. Schneider. Leipzig 1787.

zweigungen über den Kopf beim Kabljau, sodann bei einem nicht-elektrischen Rochen verfolgt und abgebildet hat.

In seinem grossen Drüsenwerke hat Joh. Müller[1]) den Verlauf des Seitencanales von Torpedo marmorata abgebildet und in gleicher Weise auch Huschke[2]) eine Darstellung von Torpedo Galvani gegeben. Endlich hat C. E. v. Baer[3]) auf die harten Ringe von Hornknochen hingewiesen, welche den Seitencanal des Störs zwischen den Seitenschildern umgeben.

Alle die genannten Autoren — mit Ausnahme von Petit, welcher über die Function dieser Organe sich überhaupt nicht geäussert hat — erklärten dieselben für einen drüsigen Apparat, aus dessen Oeffnungen sich der Schleim über die Haut ergösse, und in demselben Sinne werden diese Bildungen auch in den monographischen Darstellungen über die Fische und in den Handbüchern der vergleichenden Anatomie gedeutet.

Im Winter 1849/50 untersuchte Leydig[4]) die „Schleimcanäle" des Kaulbarsches und entdeckte an ihnen, dass die in die Canäle zahlreich eintretenden Nervenstämmchen mit einem gelblichen, etwa $^1/_4$ Linie grossen Körperchen endigen. Drüsenelemente waren innerhalb der Canäle nicht nachzuweisen. In Folge dessen erklärte er die Seitenlinie und ihre Ausläufer bei den Knochenfischen für ein eigenthümliches Sinnesorgan. Kurz darauf fand er[5]) auch an marinen Knochenfischen (Lepidoleprus, Umbrina, Corvina), dass die in die geräumigen Schleimhöhlen zahlreich eintretenden Nervenzweige zu einem stattlichen, bis zwei Linien grossen Endknopfe anschwellen.

In seiner grossen Arbeit aus dem Jahre 1868, der auch die hier gegebenen historischen Notizen zum Theil entnommen sind, hat

---

1) Joh. Müller, De glandularum secernentium structura penitiori. Lipsiae 1830. Tab. XVI. Fig. 27.

2) Huschke, Isis 1825. Tab. XI. Fig. 1.

3) C. E. v. Baer, Ueber den Seitencanal des Störes. Arch. für Anat. u. s. w. 1826. p. 376.

4) F. Leydig, Ueber die Schleimcanäle der Knochenfische. Arch. für Anat. u. s. w. 1850. p. 170.

5) Derselbe, Ueber die Nervenknöpfe in den Schleimcanälen von Lepidoleprus, Umbrina und Corvina. Ibid. 1851. p. 235.

Leydig[1]) darauf hingewiesen, dass Otto[2]) schon lange Zeit vor Entdeckung der Nervenknöpfe dieselben bei Lepidoleprus coelorhynchus gekannt habe. Allerdings hatte dieser Autor dieselben als „einzelne etwa hirsenkerngrosse drüsigte Körper" beschrieben, welche „vielleicht wie die sonderbaren Körper in den geschlossenen Schwimmblasen der Fische zur Absonderung einer Gasart oder Flüssigkeit dienen".

Dieselben Bildungen entdeckte Leydig[3]) ferner auch im Seitencanalsystem der Knorpelfische (Rochen, Haien, Chimaeren), wo sie wegen der Menge der in den Canal eintretenden Nerven und der regelmässigen Lage der Knöpfe in einer Längsreihe eine nach der Länge des Canales fortlaufende Nervenleiste bilden. Für das Seitencanalsystem des Störes fand er[4]) einen in allen wesentlichen Puncten übereinstimmenden Bau mit jenem der Knochen- und Knorpelfische und am Dornhaie (Belone acus) sah er[5]) deutlich einen ovalen Nervenknopf in dem den Schuppen der Seitenlinie aufsitzenden Canale.

2. Das System der Gallertröhren kommt nur den Rochen, Haien und Chimaeren zu; es fehlt den Teleostiern, Ganoiden und Cyclostomen und bildet nicht verzweigte Röhren, welche mit einer Erweiterung oder Ampulle blind geschlossen beginnen und sich auf der äusseren Haut öffnen. Sie wurden zuerst am Zitterrochen beschrieben von Stefano Lorenzini[6]), dem Schüler Francesco Redi's, des Entdeckers der electrischen Organe; unabhängig von diesem entdeckte sie dann Monro [7]). Während der erstere bereits die einzelnen Ampullen kannte, liess Monro nur eine ungeheuere

1) F. Leydig, Ueber Organe eines sechsten Sinnes. Nova acta Acad. caesareae Leopoldino-Carolin. germ. nat. curios. Bd. 34. Dresden 1868.

2) Otto, Ueber die Gehörorgane des Lepidoleprus trachyrhynchus und coelorhynchus. Zeitschr. f. Physiologie 1826.

3) F. Leydig, Beiträge zur mikroskopischen Anatomie und Entwicklungsgeschichte der Rochen und Haie. Leipzig 1852. p. 39 ff.

Derselbe, Zur Anatomie und Histologie der Chimaera monstrosa, Arch. für Anat. u. s. w. 1851. p. 241.

4) Derselbe, Anatomisch-histologische Untersuchungen über die Fische und Reptilien. Berlin 1853.

5) Derselbe, Kleinere Mittheilungen zur thierischen Gewebelehre. Arch. für Anat. u. s. w. 1854. p. 328.

6) S. Lorenzini, l. s. c.

7) Monro, l. s. c. p. 16 der deutschen Uebersetzung.

Menge von Gängen aus einem „Centraltheile“ — offenbar das Paquet der Ampullen — hervorgehen; dagegen wusste er bereits, dass zu diesen beiden Mittelpuncten oder zum Anfange der Schleimgänge ein Paar von Nerven läuft, fast so gross wie die Gesichtsnerven. Und er macht deshalb auch darauf aufmerksam, „dass wenigstens einige von den Organen der Secretion so wenig auffallend kleine Nerven haben, dass es vielmehr scheint, als brauchten sie einen ungewöhnlichen Antheil von Nervenkraft, um in ihren Gefässen die Feuchtigkeiten, welche sie ergiessen, zu scheiden und zu verwandeln“. Ohne von seinen Vorgängern etwas zu wissen, entdeckte diese Organe zum drittenmale der ältere Geoffroy St. Hilaire[1]). Er suchte nach einem Analogon der elektrischen Organe bei den nicht elektrischen Rochen, fand die „Schleimcanäle“ und sprach sie sofort als Abänderungen der elektrischen Organe an. Zehn Jahre später hat sie Jacobson[2]) für Sinnesorgane erklärt, welcher Deutung Treviranus[3]) in einer sorgfältigen Arbeit sich anschloss. Dasselbe sprach auch der nächste Beobachter Knox[4]) aus. Treviranus[5]) kam später nochmals auf diese Art von Tastwerkzeugen zurück und bildete sie vergrössert von Raja batis und Squalus acanthias ab.

1843 verglich Mayer[6]) in Bonn diese Bildungen neuerdings mit dem elektrischen Organe und untersuchte Savi[7]), bekannt mit

1) Geoffroy St. Hilaire, Mémoire sur l'anatomie comparée des organes électriques. Annales du Museum d'histoire naturelle. 1862. p. 392.

2) Jacobson, Extrait d'un Mémoire sur un organe particulier de sens dans les raies es les squales. Bulletin de sciences de la Société philomatique de Paris. Tome III. 1813.

3) Treviranus, Vermischte Schriften anatomischen und physiologischen Inhalts. Bremen 1820. p. 141.

4) Knox, On the theory of the existence of a sixth sense in fishes etc. Edinburgh Journal of science. Vol. II. 1825. Auszug in Froriep's Notizen 1825. p. 164.

5) Treviranus, Untersuchungen über die Natur des Menschen, der Thiere und der Pflanzen. Bd. IV. 1832. p. 168.

6) Mayer, Spicilegium observationum anatomicarum de Organo electrico in rajis anelectricis et de Haematozois. Bonnae 1843.

7) P. Savi, Atti della terza Reunione degli Scienziati Italiani, tenuta in Firenze etc. 1841. Auszug in der Isis 1843. Heft VI. Aus dieser Mittheilung geht auch hervor, dass delle Chiaje sich mit diesen Organen beschäftigt und sie als „Organi mucipari“ bezeichnet habe.

Derselbe, Études anatomiques sur la Torpille. In: Matteucci,

den Arbeiten von Lorenzini und Jacobson dieselben beim Zitterrochen. Er gab der Vermuthung Raum, dass sie dem Zitterrochen zur Empfindung der Electricität dienen. Die erste mikroskopische Untersuchung derselben hat H. Müller[1]) ausgeführt, und bald darauf hat auch Leydig[2]) ihren feinern Bau eingehend geschildert. Dann folgte eine Untersuchung von C. Eckhard[3]) sowie eine solche von Bonsdorff[4]), in welcher sich neben anderen histologischen Angaben über die Gallertröhren auch die Beschreibung der Theilung der Nervenprimitivfasern findet. Endlich hat 1858 Jobert[5]) (de Lamballes) die fraglichen Organe als neuentdecktes Analogon der elektrischen Organe beschrieben. Von neueren Autoren sei noch Sappey[6]) genannt, welcher in einer ausführlichen Monographie die Anordnung dieser Organe geschildert und abgebildet hat.

3. Die dritte Kategorie der hierher gehörigen Bildungen kommt nur den Torpedineen zu und ist von Savi[7]) entdeckt und als „appareil folliculaire nerveux" beschrieben worden.

Die Angaben Savi's wurden von Rudolf Wagner[8]) bestätigt, welcher die physiologische Bedeutung dieser Organe darin suchte, dass sie bestimmt seien, reflectorisch die Thätigkeit der elektrischen Organe auszulösen; diese Hypothese ist später von Boll[9]) durch das Experiment widerlegt worden. Seit Savi hat

---

Traité des phénomènes électro-physiologiques des animaux. Paris 1844. p. 332.

1) H. Müller, Verhandlungen der physikal.-medicin. Gesellschaft zu Würzburg. 1851.

2) F. Leydig, Beiträge etc. Leipzig 1852. p. 43 ff.

3) C. Eckhard, Ueber die Endigungsweise der Nerven in den Schleimcanälen der Zitterrochen. Beiträge zur Anat. u. Physiologie 1858.

4) Bonsdorff, Acta Societatis sc. Fenn. Tom. V.

5) Jobert, Des appareils électriques des poissons électriques. Paris 1858.

6) Sappey, Études sur l'appareil mucipare et le système lymphatique des poissons. Paris 1880.

7) P. Savi, ll. s. cc.

8) Rud. Wagner, Ueber den feineren Bau des electrischen Organes im Zitterrochen. Abh. d. Königl. Gesellschaft d. Wiss. zu Göttingen Bd. III. 1847.

9) F. Boll, Beiträge zur Physiologie von Torpedo. Arch. für Anat. u. s. w. 1873. p. 92.

sich unsere Kenntniss derselben erheblich erweitert, indem H. Müller[1]), Leydig[2]), A. v. Kölliker[3]), Max Schultze[4]) und Boll[5]) die feineren histologischen Verhältnisse der Bläschen untersuchten; dabei wurde durch v. Kölliker innerhalb derselben eine Epithelauskleidung festgestellt, welche von Max Schultze als mit Sinneszellen ausgestattet erkannt wurde; diese Sinneszellen sind später auch noch von Boll genauer beschrieben worden.

Durch die im Vorstehenden angeführten Untersuchungen waren diese Bildungen unzweifelhaft als Sinnesorgane erwiesen und Leydig konnte mit Recht in seiner grossen Monographie über die Organe eines sechsten Sinnes den schon einmal geäusserten Wunsch wiederholen: „es möchten doch die fraglichen Organe auch den Antheil eines Physiologen, welcher in feinerer Art zu experimentiren versteht, erregen, so dass wir jener Seite eine Aufklärung über die Qualität des Sinnes zu verdanken bald die Veranlassung hätten." Aber die experimentelle Forschung ist diesen Organen bis zum heutigen Tage ferngeblieben[6]), während eine nur schwer zu übersehende Reihe von Arbeiten sich mit der Verbreitung, dem feineren Baue und der Entwicklung derselben beschäftigt. Als bedeutungsvollstes Ergebniss dieser Untersuchungen muss genannt werden, dass es (zuerst F. E. Schulze[7])) gelang, dem Seiten-

1) H. Müller, l. c. p. 134.

2) F. Leydig, Beiträge etc. p. 47.

3) A. v. Kölliker, Untersuchungen zur vergleichenden Gewebelehre. Verh. der physical.-med. Gesellschaft zu Würzburg. 1856.

4) M. Schultze, Untersuchungen über den Bau der Nasenschleimhaut. Halle 1862. p. 11.

5) F. Boll, Die Savi'schen Bläschen von Torpedo. Arch. f. Anat. u. s. w. 1875. p. 456.

6) Nur Eckhard (l. s. c. p. 94) hat an Torpedo zwei Versuche angestellt, um über die secretorische Function der Gallertröhren und Ampullen Aufschluss zu erhalten. Er berichtet hierüber: „Das erste Experiment stellte ich an einem Zitterrochen an, den ich vorher durch einen Stich in den hinteren Theil des Gehirnes und nachfolgender gänzlicher Zerstörung desselben tödtete. Nachdem ich denjenigen Zweig des fünften Paares, der hier in Betracht kommt, aufgesucht hatte, setzte ich ihn intensiven electrischen Reizen aus. Es erfolgte keine vermehrte Absonderung." Der zweite Versuch an einem lebenden Thiere verlief in gleicher Weise.

7) F. E. Schulze, Ueber die Nervenendigung in den sogenannten Schleimcanälen der Fische und über entsprechende Organe der durch Kiemen athmenden Amphibien. Archiv f. Anat. u. s. w. 1861. p. 759.

canalsystem homologe Bildungen auch bei wasserbewohnenden Amphibien, d. h. also bei Perennibranchiaten, Derotremen, sowie bei den Larven der Urodelen, Gymnophionen und Anuren nachzuweisen. Bei den erstgenannten liegen sie in Form der „Nervenhügel" zeitlebens im Niveau der äusseren Haut, bei den letzteren sinken sie von dem Zeitpunkte an, in welchem die Amphibien das Wasserleben aufgeben (Larvenmetamorphose) in die tieferen Lagen der Haut hinab, werden dadurch, dass die Epidermis über ihnen zusammenwächst, von der Aussenwelt abgeschlossen und gehen eine regressive Metamorphose ein. Durch dieses Verhalten werden diese Bildungen als ein ausschliesslich den im Wasser lebenden Wirbelthieren zukommendes Organ gekennzeichnet, ein Umstand der für die Beurtheilung ihrer Function natürlich von grosser Wichtigkeit ist. Es mag hier bemerkt werden, dass auch bei den Fischen die Nervenhügel während des embryonalen Lebens frei auf der Haut aufsitzen, während sie in postembryonaler Zeit in Rinnen oder auch in vollständige Canäle eingeschlossen sind, die entweder nur von der Epidermis oder, was viel häufiger ist, von den Schuppen und den Kopfknochen gebildet werden. In dieser Form kommen sie den erwachsenen Selachiern ausschliesslich zu.

Natürlich kann es nicht unsere Aufgabe sein, in einer rein experimentellen Arbeit noch weiter auf die histologische Literatur einzugehen, die über diese Organe vorliegt. Zudem ist dieselbe in eine Reihe neuerer Publication — ich erwähne hier vor allem die von F. Merkel[1]), Garman[2]) und G. Fritsch[3]) — in sehr sorgfältiger Weise zusammengestellt worden. Ich werde daher im Folgenden nur noch auf jene Arbeiten zurückkommen, in welchen

1) F. Merkel, Ueber die Endigungen der sensiblen Nerven in der Haut der Wirbelthiere. Rostock 1880.

2) Garman, On the lateral canal system of the Selachia and Holocephala. Cambridge 1888.

3) G. Fritsch, Die elektrischen Fische. Nach neuen Untersuchungen anatomisch-zoologisch dargestellt. Zweite Abtheilung. Die Torpedineen. Leipzig 1890. — Ders. Die äussere Haut und die Seitenorgane des Zitterwelses (Malopterurus electricus). Sitzungsber. der Königl. Acad. d. Wissensch. 1886. XXII. p. 415 und Ueber Bau und Bedeutung der Canalsysteme unter der Haut der Selachier. Ibidem VIII. 1888.

Vermuthungen über die Functionsweise unserer Organe ausgesprochen sind.

Zunächst noch einiges über die Anordnung der Canalsysteme, ihren feineren Bau und die Nerven, welche dieselben versorgen, wobei ich mich ausschliesslich auf die zwei von mir untersuchten Selachierspecies, Raja und Torpedo, beschränke, bei denen ich mich durch häufige Präparation über diese Verhältnisse orientirt habe, so weit sie mit Messer und Scheere und unter der Loupe aufzudecken sind. Die Darstellung des feineren Baues gebe ich nach dem neuesten ausführlichen Autor über dieses Gebiet, Fritsch, da ich selbst keinerlei histologische Untersuchungen angestellt habe. Bei den Torpedineen kann man mit Fritsch, dem ich mich auf Grund meiner Zergliederungen völlig anschliessen muss, als Hauptanlage des Seitencanalsystems die auf der dorsalen Fläche jederseits verlaufenden Längsstämme ansehen, welche ja auch anderen Fischen in ähnlicher Weise zukommen und sich hinter den Gehörgängen in querer Anastomose vereinigen. Durch die Verbreiterung der Scheibe des Rumpfes kommen bei den Torpedineen (ebenso wie bei den nicht electrischen Rochen) jene etwa in der Körpermitte abgehenden Aeste, welche die electrischen Organe aussen angreifen, zu besonders kräftiger Entwicklung. Der weitere Verlauf des Seitencanalsystems, der übrigens für das Verständniss der gleich mitzutheilenden Experimente ohne Belang ist, kann am besten aus den nach Fritsch copirten Figuren 1 und 2 ersehen werden. Bemerkenswerth ist nur noch, dass Fortsetzungen des Seitencanalsystems auf die Bauchseite, wie sie von M'Donnell[1]), Merkel[2]), Garman[3]) bei den nichtelectrischen Rochen bemerkt worden sind, bei den Torpedineen nicht vorkommen.

Der histologische Character des ganzen Systems ist in den verschiedenen Abschnitten ein ziemlich einheitlicher. „Ueberall verdichtet sich das Bindegewebe der Nachbarschaft zu einer festeren Wand, die am Rumpfabschnitt einen fibrösen, am Kopfabschnitt, wo die Canäle meist tiefer unter der Haut lagern, einen faserknorpeligen Character trägt." Auf dieser bindegewebigen Unterlage

1) M.'Donnell, On the system of the lateral line in fishes. Transactions of the Royal Irish Academy. Vol. XXIV. 1862.

2) F. Merkel, l. c.

3) Garman, l. c.

erhebt sich ein zweischichtiges Epithel meist cubischer Zellen, die eigenthümlich unregelmässig gestellt sind, so dass die doppelte Schichtung stellenweise verwischt wird. Zwischen diesen indifferenten Epithelien finden sich dann spezifisch entwickelte Zellen an bestimmten Stellen gruppirt, welche als „Nervenknöpfe, Nervenhügel, Sinneshügel" bezeichnet werden. Dieselben bilden bei den Torpedineen, bei welchen die ganze Anlage verhältnissmässig wenig entwickelt ist, eine Gruppe von Zellen (etwa 6 — 10), deren jede auf cuticularem Saume eine lange Wimper trägt, während um sie herum sich andere als Stützzellen ordnen.

Den Verlauf des Seitencanalsystems bei Raja clavata zeigt Fig. 3, welche mit Benützung einer Abbildung Merkel's gezeichnet worden ist. Bei Raja asterias ist der Verlauf im Wesentlichen derselbe.

Die Oeffnungen des zweiten Systemes, der Gallertröhren, schieben sich zwischen diejenigen des Seitencanalsystems ein. Die Ampullen, aus welchen dieselben hervorgehen, haben bei den einzelnen Species characteristische Formverschiedenheiten; am einfachsten sind sie bei Torpedo gebaut, wo sie als kugelige Blasen ohne Ausbuchtungen nach aussen erscheinen; im Innern aber sind sie durch Scheidewände vierkammerig. Bei Raja clavata besitzt jede Ampulle fünf seitliche Ausbuchtungen, welche nach unten zu gegen einander umbiegen. Die zarthäutigen Röhren, welche in einfacher oder mehrfacher Zahl aus der Ampulle hervorgehen, sind in der Nähe derselben etwas eingeschnürt und nehmen gegen ihre Ausmündungen häufig an Umfang zu; auch ihre Länge ist nach den einzelnen Arten sehr wechselnd; die längsten kommen wohl den Rochen zu. Die Ampullen sind bei den meisten Rochen (Torpedo, Raja, Leviraja, Trygon) in eigene Kapseln eingeschlossen, welche frisch auf dem Durchchnitte ein sehr zierliches Aussehen haben, indem das eintretende weisse Nervenstämmchen von der durchsichtigen Gallertmasse schön absticht. Bei Torpedo sind zwei Paare von Ampullenkapseln bekannt; das eine liegt an der Schnauze in gerader Richtung vor den Augen und enthält in beiden Kapseln nach der Angabe von Leydig etwa hundert Ampullen. Die Canäle münden meist gegen den Rand der Körperscheibe aus, nur ein kleiner Theil geht unter dem Auge nach rückwärts und mündet auf dem Rücken. Das zweite Paar der Ampullenkapseln liegt weiter nach rückwärts am äusseren Rande des electrischen

Organes, und mag etwas weniger Ampullen einschliessen, als das vor den Augen gelegene Paar. Die Canäle gehen nach vorne, nach hinten und nach unten; ihre Ausmündungen in der Haut liegen zumeist am Rande der Körperscheibe und an der Rückenfläche, den vom electrischen Organe erfüllten Raum natürlich ausgenommen. Auf der Bauchseite bemerkt man die meisten Oeffnungen zwischen den Nasenflügeln und dem Körperrande.

Bei Raja clavata liegt, wie zuerst Robin[1]) beschrieben und Leydig[2]) bestätigt hat, noch ein kleineres Paar aussen und hinten am Mundwinkel; ebenso verhält es sich bei Raja asterias. Was den feineren Bau dieser Organe angeht, so besteht das Grundgewebe der Ampullen und Röhren nach den übereinstimmenden Angaben der Autoren aus einem homogenen Bindegewebe, das sich leicht in Längsfasern ähnliche Falten legt, sobald das Rohr nicht mehr zu prall angefüllt ist. Nach aussen wird dieses Bindegewebe mehr faserig und erhält auch elastische Elemente beigemengt. Die Innenfläche der Ampullen und Canäle wird von einem Epithel ausgekleidet, welches in der Ampulle selbst dichter und immer deutlich ist; im Canale aber ist dasselbe häufig ziemlich schwer nachzuweisen. In jede Ampulle tritt ein Nervenstämmchen und ein oder mehrere Blutgefässe ein; beide reichen nie über das Bereich der Ampulle hinaus, und man sieht die Schlingen der letzteren leicht, so lange sie noch mit Blut erfüllt sind. Die die Canäle begleitenden Gefässe laufen bloss an der äusseren Fläche hin. Der Hohlraum von Ampulle und Rohr ist mit einer homogenen Gallerte erfüllt, die in frischem Zustande eine sehr feste Consistenz hat und erst bei sehr starkem Drucke auf die äussere Haut hervorquillt. Bei den Torpedineen sind die Ampullen auf einem viel niedrigeren Stadium der Entwicklung als bei anderen Selachiern; die sie auskleidenden Zellen stellen unregelmässig polyedrische Körper dar, die etwa eben so hoch als breit sind. Sinneshaare tragende Zellen, wie sie im Seitencanalsysteme vorkommen, sind hier ebenso wenig wie in den Ampullen der übrigen Selachier nachzuweisen. Nach diesen histologischen Eigenthümlichkeiten möchte Fritsch mit Merkel diesen Bildungen den Character

1) Ch. Robin, Recherches sur un appareil qui se trouve sur les Raies. Annales des sciences naturelles. 3me série VII. 1847. p. 193.

2) F. Leydig, Beiträge etc. p. 47.

eines Sinnesorganes absprechen und ihnen eine wesentlich secretorische Funktion zuschreiben; doch wäre nach seiner Meinung die Anschauung nicht von der Hand zu weisen, dass es sich hier um „den Rest eines zurückgebildeten, gleichsam im Secret erstickten Sinnesorganes" handle. Morphologisch hätte man nach ihm das ganze System als einen bestimmten, selbstständig gewordenen Theil des Seitencanalsystems zu betrachten, der sich einer besonderen, dem Ganzen nicht in gleichem Maasse zukommenden Funktion angepasst hat, während bei anderen Fischen dieser Theil gar nicht oder nur unvollkommen gesondert wurde.

Das System der Savi'schen Bläschen endlich stellt etwa 2 — 3 mm im Durchmesser haltende, im Leben völlig durchsichtige Bläschen dar, welche den ungefähr viereckigen Raum zwischen den vorderen Enden der electrischen Organe bis zur Oberlippe hin einnehmen. Hier sitzen sie auf der ventralen Fläche einer kreuzförmigen Aponeurose auf, welche den Schnauzentheil des Fisches ungefähr in der Mitte zwischen der Rücken- und Bauchfläche durchzieht. An der vordersten Schnauzenkante treten die Bläschenschnüre durch Lücken dieser Aponeurose auf die Dorsalseite, wo sie vor den Augen in rudimentären Bildungen endigen. Nach rückwärts geht von der Aponeurose ein fibröses Band zwischen dem äusseren Rande des electrischen Organes und dem Flossenknorpel bis fast zum letzten Drittel des ersteren; auf ihm sind gegen vierzig solcher Blasen angeheftet, welche in ihrer Stellung auf dem Bande noch besonders durch das zu jedem Bläschen tretende Nervenästchen fixirt sind. Zum Durchtritte für die Nerven ist das Band knopflochartig gespalten, wie es schon Savi gezeichnet hat; es läuft frei durch eine gallertige Substanz und entsendet zwischen zwei Bläschen je einen Fortsatz zur Befestigung an dem Flossenknorpel, wobei wiederum je zwei solcher Fortsätze durch einen, dem Hauptbande parallel ziehenden secundären Strang sich in Verbindung setzen.

Jedes Bläschen besteht aus einer homogenen bindegewebigen Membran und ist von einer hellen Gallertmasse erfüllt. Der in dasselbe eintretende Nerv durchbohrt ein eigenthümlich verfilztes Gewebe, welches wie ein Polster im unteren Theile des Bläschens lagert, und pflegt dann in drei Aestchen zu zerfallen, von denen das mittelste am stärksten ist. Jedes der drei Aestchen bildet eine Art Sohle, welche den Character gewucherter Nervenfaserscheiden

trägt. „Nach dem Lumen zu verdichtet sich das Gewebe der Sohle, in welche sich noch markhaltige Nervenfasern verflechten, zu einer festeren Grenzschicht (Basalplatte, F. E. Schulze), von durchbrochenem Aussehen für durchtretende Nervenfasern und Lymphbahnen, und auf dieser Basalplatte sitzt erst das eigentliche Sinnesepithel", welches, wie die Nervenvertheilung, in typischen Bläschen dreitheilig ist. Als Sinnesepithel wird dasselbe durch das Auftreten von langen, ziemlich starren Wimperhaaren characterisirt, welche einer ganz bestimmten Zellkategorie angehören. Diese Sinneszellen zeigen in ihrem Baue die weitgehendste Analogie mit den Hörzellen des Corti'schen Organes. Neben diesen zarten, schwer in normalem Zustande zu erhaltenden Zellen findet sich eine andere, viel widerstandsfähigere Kategorie von Zellen in grösserer Menge, welche den sog. „Fadenzellen" (Retzius) des Gehörorgans gleichen und Stützelemente für die ersteren darstellen. Das ganze Sinnesepithel ist von jener eigenthümlichen Kappe bedeckt, welche von den Autoren als „Cupula terminalis" bezeichnet wird.

Aus einer Vergleichung mit den häutigen Kopfcanälen der nicht electrischen Rochen, welche ja den Torpedineen fehlen, zieht Fritsch den Schluss, „dass die Savi'schen Bläschen abgerundete und gänzlich abgeschlossene Stücke häutiger Kopfcanäle anderer Rochen darstellen".

Was die Innervation der genannten Organe betrifft, so ist hierüber folgendes zu bemerken. Im Bereiche des Kopfes ist es der N. trigeminus, im Bereiche des Rumpfes der N. vagus, beziehungsweise dessen Ramus lateralis, welcher diese Gebilde versorgt. Ueber die Verbreitung der Trigeminusäste bei Torpedo möchte ich auf Grund meiner anatomischen Untersuchungen noch einige genauere Angaben machen, welche zum Verständnisse der Experimente nothwendig sein werden. Die vor der Schnauze gelegenen Savi'schen Bläschen und Lorenzini'schen Ampullen werden von einem Trigeminusaste innervirt, welcher nach seinem Austritte aus der Schädelhöhle medial von der Nasenöffnung verläuft, und sich dann an die Unterseite des Bulbus begibt, um sein Verbreitungsgebiet zu erreichen; kurz vor dem Betreten desselben theilt er sich in zwei Aeste. Die seitlich zwischen dem Flossenknorpel und dem lateralen Rande des electrischen Organes liegende Schnur Savi'scher Bläschen, sowie das zweite Ampullenpaar empfangen ihre Nerven aus einem gemeinsamen Trigeminusaste, welcher, lateral von der

Nasenöffnung verlaufend, ganz oberflächlich liegt, und etwa an der Grenze zwischen dem medialen und vorderen Rande des electrischen Organes in zwei Aeste zerfällt, welche das electrische Organ aussen umgreifend, ihrem Innervationsgebiete zustreben; der eine der beiden Aeste innervirt die Ampullen, der andere die Savi'schen Bläschen. Der Stamm sowohl als seine Theilungsstelle ist durch einen einfachen Hautschnitt ohne Weiteres freizulegen; in gleicher Weise kann auch der erstgenannte Trigeminusast präparirt werden, doch ist derselbe viel kürzer, liegt tiefer, und seine Präparation ist am lebenden Thiere ein jedenfalls schwererer, wenn auch nicht sehr bedeutender Eingriff.

Versuche über die Function dieser Organe könnten nach folgenden Gesichtspunkten angestellt werden. Erstlich wäre daran zu denken, durch totale oder partielle Exstirpation derselben — in diesem Falle könnte es sich natürlich nur um die Lorenzini'schen Ampullen und Savi'schen Bläschen handeln — und nachherige Beobachtung des Thieres etwas über die Wirkungsweise dieser Gebilde zu ermitteln. Derartige Experimente habe ich überhaupt nicht ausgeführt, da sie, wie schon die anatomischen Untersuchungen lehrten, ein viel zu schwerer Eingriff für das Thier gewesen wären, sich auch in exacter Weise gar nicht hätten ausführen lassen.

Dieser Operation gleichwerthig wäre eine zweite, viel schonendere gewesen, nämlich die Durchschneidung der Nerven, welche aus diesen Organen entspringen. In der That habe ich auch einzelne derartige Versuche ausgeführt, aber mit durchaus negativem Erfolge. Dieselben bestanden durchweg in einer Durchschneidung der betreffenden Trigeminusäste, da auch der N. lateralis vagi schon verhältnissmässig schwer zugänglich ist. Ich habe zunächst an einer kräftigen, frisch gefangenen Torpedo beiderseits jenen Trigeminusast durchschnitten, welcher die laterale Reihe der Savi'schen Bläschen und die lateralen Ampullen versorgt, ein Eingriff, der sich fast ohne jede Blutung ausführen lässt. Nach Vernähung der Wunde wurde das Thier in das Bassin zurückgebracht und in seinem weiteren Verhalten beobachtet. Aber es war absolut keine Spur eines veränderten Verhaltens gegenüber normalen Thieren wahrzunehmen. Träge und während des grössten Theiles der Zeit bewegungslos lag es auf dem Boden des Bassins; aufgescheucht, schwamm es kurze Zeit umher, gab gelegentlich, wie die Beobach-

tung mit dem Telephon zeigte, einige Schläge ab, und ging dann wieder auf den Grund des Aquariums hinunter. Da die Torpedineen, wie fast alle Selachier, wesentlich Nachtthiere sind, hoffte ich, vielleicht bei Beobachtung während der Nachtstunden ein verändertes Verhalten constatiren zu können; aber auch zu dieser Zeit zeigten die Thiere keinerlei Abweichungen in ihrem Benehmen gegenüber den normalen. Ebensowenig positive Resultate erhielt ich in Versuchen, in welchen einmal der die Lorenzini'schen Ampullen, ein anderesmal der die Savi'schen Bläschen versorgende Ast einseitig oder beiderseitig durchschnitten worden war. Auch auf diesem Wege war die Frage also nicht zu erledigen.

Nun bot sich schliesslich noch eine dritte Möglichkeit. Durch die Untersuchungen von F. Holmgren, denen sich die von J. Dewar, und J.G.M'. Kendrick, W. Kühne und J. Steiner, Th. W. Engelmann und G. Grijns, sowie meine eigenen anschlossen[1]), war der Beweis erbracht worden, dass Erregung einer Sinnesoberfläche, der Retina, durch den adaequaten Reiz, eine Aenderung des im Ruhezustande bestehenden electromotorischen Verhaltens der Sinnesoberfläche selbst, resp. des in ihr seine periphere Endausbreitung findenden Nerven, im Sinne einer Stromesschwankung im Gefolge habe. Da lag wohl der Gedanke nahe, einmal gewissermassen den umgekehrten Weg zu gehen und durch Application verschiedener Reize auf das Sinnesorgan jenen Reiz oder jene Reize ausfindig zu machen, welche von einer analogen Bewegungserscheinung des von der Sinnesoberfläche oder dem Nerven abgeleiteten Ruhestromes gefolgt wären. Auf diesem Wege würde sich unter günstigen Umständen der adaequate Reiz ermitteln und sonach auch auf die normale Functionsweise des Apparates ein Schluss ziehen lassen.

Die Ausführung der nach diesem Plane angestellten Versuche gestaltete sich einfach in folgender Weise. Die Torpedo — es kamen stets möglichst frische und kräftige Exemplare von Torpedo ocellata in Verwendung — wurde rasch durch einen Scheerenschnitt, welcher das Gehirn vom Rückenmarke trennte, immobilisirt; hierauf wurden Gehirn und Rückenmark ausgebohrt, das Herz exstirpirt

1) Vgl. die hierher gehörige Literatur in meiner Abhandlung: Untersuchungen über die im Gefolge der Belichtung auftretenden galvanischen Vorgänge in der Netzhaut und ihren zeitlichen Verlauf. Pflüger's Archiv Bd. LVI. 1894, p. 408.

und die electrischen Nerven durchschnitten, was eine Arbeit von wenigen Minuten ist. Das Thier wurde sodann auf eine dicke Glasplatte gelegt und der Trigeminusast, welcher die lateralen Ampullen und Savi'schen Bläschen versorgt, auf eine Länge von 2—3 cm freipräparirt. Nach Durchschneidung dieses Nerven möglichst nahe seinem centralen Ende wurde er mit Längs- und Querschnitt an zwei du Bois-Reymond'sche Thonstiefel- oder v. Fleischl'sche Pinselelectroden angelegt und in bekannter Weise zu dem mittelst Hauy'schen Stabes aperiodisirten Hermann'schen Galvanometer (aus der Werkstätte von Plath in Potsdam) mit 6×4000 hintereinandergeschalteten Windungen abgeleitet. Gleichzeitig war durch Einschaltung eines runden Compensators, eines Stöpselrheostaten und eines mit Zinksulfat angemachten Daniell'schen Elementes — Normalelement hatte ich keines zur Verfügung — sowie der nothwendigen Schlüssel und Stromwender nach den von E. du Bois-Reymond gegebenen Vorschriften auch für Compensation des Längsquerschnittstromes und Messung seiner electromotorischen Kraft gesorgt.

In einer Reihe von Vorversuchen berührte ich nun einfach die Haut über dem seitlichen Paquet der Lorenzini'schen Ampullen und über den Savi'schen Bläschen unter ganz leisem Drucke mit einem Finger und war sehr überrascht, jedesmal eine deutliche, wenn auch geringe Ablenkung der Scala im Sinne einer negativen Schwankung des Nervenstromes wahrzunehmen. Wiederholtes Berühren in derselben Gegend hatte, wenn die einzelnen Berührungen nicht zu rasch aufeinander folgten, jedesmal den gleichen Effect; Berühren anderer Hautstellen dagegen, z. B. über dem electrischen Organe der gleichen oder entgegengesetzten Seite oder an anderen Partien des Rückens waren erfolglos. Nachdem die nicht allzuschwierige Methodik dieser Versuche — kräftige, womöglich frisch gefangene Thiere und rasche Präparation sind die Hauptsache — ausgearbeitet war, ging ich an die weitere Verfolgung dieser Erscheinung, wobei mir Herr Prof. K. Schoenlein, der Vorsteher der physiologischen Abtheilung der Station, mit grösster Liebenswürdigkeit zur Seite stand. Das Resultat der Vorversuche war mir, trotz aller Raisonnements, die mir dasselbe ja a priori für durchaus nicht unwahrscheinlich erscheinen lassen mussten, doch so überraschend, dass ich mit Freude die Hülfe eines zweiten Beobachters annahm. In einer Reihe von Versuchen haben wir uns

so in die Beobachtungen getheilt, dass der eine von uns die Reizung des Organs ausführte, während der andere die Galvanometerablesungen besorgte, wobei wir oft die Rollen tauschten. Zunächst wurde, da es sich um verhältnissmässig geringfügige Ausschläge handelte, eine Anzahl von Beobachtungen nach der Methode der richtigen und falschen Fälle in der Weise ausgeführt, dass der Beobachter am Galvanometer Sinn und Grösse eines etwaigen Ausschlages angab, ohne zu wissen, ob eine Reizung des Organes stattgefunden hatte oder nicht. Das Protocoll eines Versuches, das ich hersetze, wird den ganzen Vorgang am besten illustriren.

1. II. 94. Torpedo ocellata, grosses Exemplar, harpunirt, wird um 4 h p. m. frisch eingebracht. Sofortige Durchschneidung des Rückenmarkes, Ausbohrung desselben und des Gehirns sowie Exstirpation des Herzens. Durchschneidung der elektrischen Nerven. Präparation des rechten Trigeminusastes, der die lateralen Ampullen und Savi'schen Bläschen versorgt, in einer Länge von 3 cm; Durchschneidung desselben knapp an seinem centralen Ursprunge. Derselbe wird mit Längs- und Querschnitt bei 2 cm Spannweite durch v. Fleischl'sche Pinselectroden zum Galvanometer abgeleitet. Electrodenstrom = 30 Scalentheile, Nervenstrom = 200 Scalentheile, compensirt (El. K. nicht gemessen). Reizung durch sanftes Berühren der Haut mit dem Finger oder einem Elfenbeinstäbchen (Prof. Schoenlein am Galvanometer).

(Unter R. sind die Fälle notirt, in welchen im Gefolge der Reizung ein Ausschlag der Scala im Sinne einer negativen Schwankung beobachtet wurde, unter F. nicht nur jene, in welchen ein solcher Ausschlag beobachtet wurde, ohne dass eine Reizung vorhergegangen war, sondern auch solche, in welchen der Reizung keine negative Schwankung folgte.)

R.	F.
1. N. Schw. = 10 Scalentheile, rascher Ausschlag; Reizung am lateralen Rande des electr. Organes, vor den Ampullen.	
	2. N. Schw. fehlt; Reizung wie sub 1.
3. ? N. Schw. (Spur eines Ausschlages); Reizung am lateralen Rande des electr. Organes in der Gegend der Lorenzini'schen Ampullen.	
4. N. Schw. und Reizung wie sub 1.	
5. N. Schw. und Reizung ebenso.	
6. ? N. Schw. und Reizung wie sub 3.	
	7. N. Schw. fehlt; Reizung wie sub 1 u. 2.

R.	F.
8. N. Schw. und Reizung wie sub 1.	
9. N. Schw. wie sub. 1; Reizung weiter vorne.	
10. N. Schw. wie sub 1; Reizung weiter vorne.	
11. ? N. Schw. und Reizung wie sub 3.	
12. N. Schw. und Reizung wie sub 1.	
13. ? N. Schw. Reizung wie sub 1.	
14. N. Schw. wie sub 1; Reizung lateralwärts am vorderen Rande des electr. Organes.	
15. ? N. Schw. Reizung nahe dem hinteren Rande des electr. Organes.	
	16. ? N. Schw. keine Reizung.
17. N. Schw. wie sub 1, sehr prompt; Reizung lateralwärts am vorderen Rande des electr. Organes.	
18. N. Schw. und Reizung ebenso.	
19. ? N. Schw. Reizung ungefähr in der Mitte des vorderen Randes des electr. Organes.	
20. N. Schw. prompt; Reizung wie sub 19.	
21. N. Schw. und Reizung ebenso.	
	22. ? N. Schw. } Fraglicher Aus-
	23. ? N. Schw. } schlag; keine Reizung
24. ? N. Schw. und Reizung wie sub 19.	
24. ? N. Schw. und Reizung ebenso.	
25. N. Schw. sehr prompt. Reizung wie sub 19 und 24.	

Wie man sieht, ist also unter 26 Beobachtungen 21mal, d. i. in 80,7 % eine Reizung unserer Organe von einer negativen Schwankung gefolgt; berücksichtigt man, was vielleicht richtiger ist, nur die sicheren Ausschläge (ohne Fragezeichen), so ist unter 15 Fällen 13mal, d. i. in 86,6 % eine negative Schwankung als Effect der Reizung zu constatiren.

Der linke Nerv desselben Thieres, welcher etwa 1 Stunde nachher präparirt worden war, gab kräftigen Ruhestrom, aber keine Schwankung. In analoger Weise verliefen die Versuche der folgen-

den Tage, wie die hiehergesetzten Auszüge aus meinen Versuchsprotocollen beweisen.

2. II. 94. Kleine Torpedo, sehr frisch und lebhaft; gleiche Versuchsanordnung wie am Vortage, du Bois-Reymond'sche Thonstiefelelectroden. Negative Schwankung an beiden Nerven im Gefolge der Reizung.

7. II. 94. Mittelgrosse Torpedo; ebenso.

12. II. 94. Mittelgrosse Torpedo; ebenso.

17. II. 94. Grosse Torpedo; rechter Nerv präparirt; Ausschläge ebenso, nur schwächer; das Thier war seit einigen Tagen im grossen Aquarium.

20. II. 94. Grosse Torpedo; Effect der Reizung beiderseits derselbe; directe Berührung der blossgelegten Gallertröhren ist ohne Erfolg.

Nachdem so in unzweideutiger Weise bewiesen war, dass auf leise Berührung der Haut in der Gegend der Savi'schen Bläschen und Lorenzini'schen Ampullen eine negative Schwankung des Längsquerschnittstromes an dem diese Gebilde versorgenden Nerven eintritt, versuchte ich den Antheil, welchen die Erregung jedes dieser beiden Organe für sich an dem Zustandekommen der negativen Schwankung hat, festzustellen. Dazu war nur nöthig, zunächst die Versuche in der eben beschriebenen Weise zu wiederholen und dann einmal den Ast, welcher die Ampullen, ein anderesmal den, welcher die Savi'schen Bläschen versorgt, zu durchschneiden und nun aufs Neue den Effect der Reizung zu studiren. Folgende Versuche beantworten diese Frage.

23. II. 94. Mittelgrosse Torpedo, eben eingeliefert. Präparation wie in den früheren Versuchen, nur wird der rechte Nerv bis zur Theilungsstelle freigelegt. Ruhestrom = 200 Scalentheile; auf Berührung in der Gegend der Ampullen jedesmal prompte negative Schwankung. Durchschneidung des Astes, welcher zu den Savi'schen Bläschen geht; Berührung jetzt erfolglos.

Hierauf Präparation jenes Trigeminusastes, welcher die Savi'schen Bläschen vorne an der Schnauze versorgt. Auf leisen Druck in der Schnauzengegend jedesmal prompte Reaction im Sinne einer negativen Schwankung, im Maximum = 10, im Minimum = 5 Scalentheile.

Präparation des linken Nerven, welcher die seitlichen Ampullen und Savi'schen Bläschen versorgt. Erfolg der Berührung wie früher. Präparation des Nerven, welcher die Savi'schen Bläschen an der Schnauze versorgt; Berührung in der Schnauzengegend hat den gleichen Effect. Verhalten nach Durchschneidung der einzelnen Aeste nicht geprüft.

26. II. 94. Mittelgrosse Torpedo, vor zwei Tagen gefangen; lebhaftes Thier. Rechter Nerv für die lateral liegenden Organe präparirt. Effect der Berührung prompt; Ampullenast durchschnitten; Effect der Berührung der gleiche.

Derselbe Nerv linkerseits präparirt; Reaction auf Berührung ebenso. Nach Durchschneidung des Astes, welcher die laterale Reihe der Savi'schen Bläschen versorgt, kein Effect bei leiser Berührung, ebensowenig auf stärkeres Beklopfen mit dem Finger.

Auch in den folgenden Versuchen war dieses so gewonnene Resultat ein constantes, indem nur die Reizung der Savi'schen Bläschen eine negative Schwankung im Gefolge hatte.

Ich ging nun an die directe Erregung der blosgelegten Organe, hatte aber dabei fast in allen Fällen einen completen Misserfolg; offenbar ist das Organ selbst zu zart und hinfällig, um nach der Blosslegung noch in normaler Weise zu functioniren. Andere Reize, thermische (durch Auflegen von Fliesspapier, welches in warmem Meerwasser getränkt war), chemische (durch Aufträufeln von HCl, H_2SO_4 in verschiedener Concentration) waren gleichfalls erfolglos. Ebensowenig hatte das Einblasen von Luft in die Gallertröhren einen Effect. Nur bei Application von schwachen Druck-Reizen war die negative Schwankung in der beschriebenen Weise jedesmal zu constatiren, wobei auch eine gewisse Proportionalität zwischen der Grösse des Druckes und der Grösse der negativen Schwankung zu bestehen schien. Bei constantbleibendem Drucke ging der Strom bald wieder zum ursprünglichen Betrage des Ruhestromes zurück, Zunahme des Druckes wurde dann wieder mit negativer Schwankung beantwortet.

An Raja clavata und Raja asterias habe ich schliesslich noch einige Versuche gemacht, um die Function der häutigen Kopfcanäle, welche gleichfalls vom Nervus trigeminus versorgt werden, festzustellen. Der betreffende Ast konnte am besten in der Weise präparirt werden, dass ich nach Resection des Unterkiefers ihn von der Bauchseite aus freilegte. In den meisten Fällen vermochte ich auf Berührung der Haut über den ventralen Kopfcanälen, wenn das Thier nur frisch genug und die Präparation rasch von Statten gegangen war, gleichfalls eine Reaction im Sinne einer negativen Schwankung des Nervenstromes wahrnehmen. Einblasen von Luft in die Canäle, sowie Vermehrung des Druckes, unter welchem die Flüssigkeit innerhalb der Canäle steht, durch Erhöhung der Wassersäule in einem in einen Canal eingebundenen Glasrohre erwies sich als erfolglos.

Soweit reichen die experimentellen Daten, welche ich über die Functionweise dieser so räthselhaften Bildungen geben kann

Wenn dieselben sich auch nur auf zwei Species erstrecken — die betreffenden Untersuchungen füllten ja, wie schon Eingangs bemerkt worden ist, nur die Zeit zwischen Experimenten ganz anderer Art aus, deren Vollendung mir zunächst am Herzen lag — so sind sie doch völlig eindeutig und berechtigen ohne Weiteres zu dem Schlusse, dass wir es in den Savi'schen Bläschen und in dem Seitencanalsysteme mit Organen zu thun haben, welche zunächst Druckänderungen zu percipiren im Stande sind. Durch die Empfindungen, welche diese Orgcne vermitteln, wird das Thier über die Grösse des hydrostatischen Druckes, unter dem es steht, beziehungsweise über Aenderungen desselben unterrichtet werden. Denn es bedarf kaum der Erwähnung, dass die in unseren Experimenten gesetzten Druckänderungen physicalisch völlig gleichwerthig sind solchen, welche durch die Aenderung der Höhe einer über dem Thiere befindlichen Wassersäule hätten hervorgerufen werden können. Nur war diese Art zu experimentiren aus ohne Weiteres einzusehenden methodischen Gründen unzulässig. Dem System der Gallertröhren und Ampullen dagegen muss nach meinen Experimenten die Function eines Sinnesorgans abgesprochen werden, wofür ja auch schon Merkel und Fritsch auf Grund des histologischen Befundes eingetreten sind. Es wird wohl mit diesen Forschern als ein secretorischer Apparat aufzufassen sein.

Es ist gewiss nicht ohne Interesse, diese durch das Experiment begründete Auffassung von der Functionsweise unserer Organe mit jenen Vermuthungen über ihre physiologische Bedeutung zu vergleichen, welche seit Leydig's bahnbrechenden Untersuchungen von verschiedenen Forschern im Hinblick auf den feineren Bau dieser Bildungen geäussert worden sind. Leydig selbst hatte dieselben als „Organe eines sechsten Sinnes" bezeichnet und damit zunächst die Auffassung präcisiren wollen, dass diese Organe Empfindungen vermitteln, welche denen der gewöhnlichen fünf Sinne nicht ohne Weiteres beigeordnet werden können. Wollte man dies trotzdem thun, so könnte man sie noch am ehesten den Tastapparaten zurechnen. Im Wesentlichen wird es sich wohl um ein Sinnesorgan handeln, welches für den Aufenthalt im Wasser berechnet ist. Aber Leydig hat gleichzeitig darauf hingewiesen, dass

solche Sinnesorgane auch anderen Thiergruppen zukommen, welche nicht Wasserbewohner sind, und „dass in gewissen Formen neben der empfindenden Thätigkeit auch eine secretorische stattfinden möge", ja dass vielleicht die erstere nur unter Zuhülfenahme der zweiten erfolgen könne. Schliesslich hat er auch die Frage aufgeworfen, „ob nicht selbst bei Säugethieren unter jenen Drüsen der Haut, welche wir als „Schweissdrüsen" zusammenzufassen pflegen, es solche gebe, welche einen geraderen Bezug zum Nervensystem, zur Sensibilität haben, als zur Secretion.

Dieser Auffassung gegenüber hat F. E. Schulze[1]) betont, dass ein Theil der von Leydig hieher gerechneten Bildungen nicht mit den Sinnesorganen der Seitenlinie — wie wir unsere Organe jetzt auch bezeichnen können — homologisirt werden dürfe; diese letzteren kommen ausschliesslich den im Wasser lebenden Wirbelthieren zu, und dies ist ein entscheidendes Moment für ihre Deutung.

Er weist ferner darauf hin, dass in der Art der Nervenendigung eine grössere Uebereinstimmung mit dem Gehörorgane hervortritt. Als wahre Hörapparate — dafür haben sie z. B. die Gebrüder Sarasin[2]) erklärt, die sie direct als „Nebenohren" bezeichnen, und Emery[3]) fasst sie gleichfalls als ein weit über die Körperoberfläche ausgebreitetes accessorisches Gehörorgan auf, dessen Functionen, wenn sie auch nicht gerade schallempfindender Natur sind, doch in den Bereich des Gehörsinnes fallen — möchte er sie freilich trotzdem nicht betrachten, „nicht allein deshalb, weil Fische wie Amphibien schon ein entwickeltes, durchaus nach demselben Typus wie bei den Wirbelthieren gebautes Gehörorgan besitzen", sondern vor allem auch darum, weil sich immerhin noch erhebliche Unterschiede im Baue zwischen beiden Organsystemen finden. Nach seiner Auffassung sind dieselben ein speciell für den Wasseraufent-

---

1) F. E. Schulze, Ueber die Sinnesorgane der Seitenlinie bei Fischen und Amphibien. Archiv für mikroskop. Anat. Bd. VI. 1870. p. 62.

2) Gebr. Sarasin, Ergebnisse naturwissenschaftlicher Forschungen auf Ceylon. Bd. II, Heft 2. Zur Entwicklungsgeschichte und Anatomie der ceylonesischen Blindwühler Ichthyophis glutinosus. Wiesbaden 1887. p. 54.

3) C. Emery, Le specie del genere Fierasfer nel golfo di Napoli e regioni limitrofe. Fauna und Flora des Golfes von Neapel. II. Monographie Leipzig 1880. p. 48.

halt eingerichteter Sinnesapparat, „geeignet zur Wahrnehmung von Massenbewegungen des Wassers gegen den Fischkörper oder dieses gegen die umgebende Flüssigkeit, sowie von groben durch das Wasser fortgeleiteten Stosswellen mit längerer Schwingungsdauer, als sie den das Gehörorgan afficirenden Wellen zukommt ... Zunächst wird das Thier bei jeder Lageveränderung, welche es selbst ausführt, also vor allen Dingen beim Schwimmen, über die Art und Grösse dieser Bewegung durch den auf die Haare der Seitenorgane ausgeübten und von diesen in Nervenerregung umgesetzten Druck des umgebenden, Widerstand leistenden Wassers genau unterrichtet; ebenso wird die Nähe eines festen Körpers, oder der Wasseroberfläche, sowie die Wassertiefe, in der sich das Thier befindet, durch den zunehmenden Widerstand des Wassers bei allen Bewegungen erkannt werden. Ferner wird jegliches Vorbeifliessen des Wassers an dem ruhenden Thiere, sowie die Richtung desselben percipirt werden. Besonders wichtig aber muss es sein, wenn auch wellenförmig sich fortpflanzende stossartige Bewegungen auf grössere Entfernung hin zur Wahrnehmung gelangen, wenn z. B. ein Fisch von den stossartigen Bewegungen eines anderen, von deren Richtung, quantitativer und qualitativer Eigenthümlichkeit Kunde erhält". Schulze hat seine Auffassung, dass es die Bewegung des Wassers sei, welche als Reiz diene, dadurch zu begründen versucht, dass die freistehenden Nervenhügel durch dieselben ohne Weiteres afficirt werden könnten; innerhalb der Seitencanäle würde die Erregung der Sinneszellen dadurch zu Stande kommen, dass das Wasser, wenigstens in den meisten Fällen, durch dieselben frei hindurchströmen und so eine Verbiegung der Härchen bewirken könne.

Dieser Annahme gegenüber hat Merkel[1]), wie ich glaube mit Recht, betont, dass ein solcher Durchströmungsvorgang schon wegen der anatomischen Verhältnisse nicht ohne Weiteres angenommen werden dürfe; er meint sogar, dass das Wasser, welches in die Seitencanäle eindringt, den innerhalb derselben befindlichen Schleim zum Quellen bringen und so das Durchströmen des Wassers direct verhindern werde.

Aber auch abgesehen davon könnte ja für die Savi'schen Bläschen, welche sich nach meinen Experimenten ganz zweifellos

1) F. Merkel, l. s. c. p. 54.

als Sinnesorgane erwiesen haben, ein solcher Erregungsmodus nicht angenommen werden. Nach Merkel's Ansicht können die Sinneshaare oder Nervenhügel ihren adaequaten Reiz durch alle Dinge empfangen, welche dieselben in Bewegung versetzen; dies könnte ebenso gut eine Wasserwelle, wie ein im Wege liegender Stein, wie ein begegnendes lebendes Wesen sein. Ihm sind diese Organe sonach nichts anderes als ein Organ des Tastgefühles.

Fritsch endlich betont wieder die Aehnlichkeit ihres Aufbaues mit dem von Gehörorganen und meint, in Uebereinstimmung mit Schulze, dass sie dazu bestimmt sein könnten, fortgeleitete Schwingungen wahrzunehmen; allerdings könnte es sich nach seiner Meinung hier nur um Schwingungen niedrigerer Ordnung, die noch nicht als Ton wahrgenommen werden, oder selbst einfache Erschütterungen des Mediums handeln.

Manche Autoren haben die Vermuthung ausgesprochen, dass diese Organe dazu dienen könnten, die chemische Beschaffenheit des Wassers, in welchem die Thiere leben, zu prüfen, was gleichfalls mit dem Nachweise der Existenz von Nervenhügeln in geschlossenen Bläschen völlig unvereinbar ist. Auch steht diese Auffassung in directem Widerspruche mit den Ergebnissen meiner Versuche.

Wie man sieht, besteht zwischen den Vermuthungen von Leydig, Schulze, Merkel und Fritsch über die Function dieser Organe und jener Auffassung, welche ich auf Grundlage des Experimentes ausgesprochen habe, eine gewisse Uebereinstimmung. Es handelt sich im Wesentlichen um Apparate, welche dem Qualitätenkreise des Tastsinnes verwandte Empfindungen vermitteln. Dass in meinen Versuchen nur Druckänderungen von negativer Schwankung des Nervenstromes gefolgt waren, mag einen Hinweis darauf enthalten, dass die Perception solcher die Hauptaufgabe dieser Anlagen sein wird. Dabei möchte ich es durchaus nicht für ausgeschlossen erklären, dass auch andere verwandte Reize von ihnen percipirt werden können. Freilich dürfte der experimentelle Beweis hierfür wegen der Schwierigkeit, eine sichere und einwandfreie Methodik zu schaffen, kaum zu erbringen sein, ebensowenig wie es vorläufig angeht, die Rolle, welche die einzelnen Constituentien dieser Sinnesorgane, speciell die in ihnen enthaltene Flüssigkeit, bei der Uebertragung der Reize auf die Sinneszellen spielen, näher zu präcisiren.

Von allgemein physiologischem Interesse erscheint schliesslich auch noch der Nachweis, dass die Erregung dieser Sinnesorgane von Stromesschwankungen gefolgt ist, welche nach allem, was wir wissen, als Ausdruck der bestehenden Erregung aufzufassen sind. In dieser Hinsicht zeigen dieselben ein völlig analoges Verhalten wie die Netzhaut, welche bisher die einzige Sinnesoberfläche gewesen ist, in welcher derartige objective Veränderungen haben genauer studirt werden können.

Erklärung zu der Tafel VI.

Fig. 1. Rückseite von Torpedo ocellata mit durchsichtig gedachter Haut. Das System des Seitencanales ist mit Doppellinien, das System der Lorenzini'schen Canale mit einfachen punctirten Linien ausgeführt.
S.C. = Seitencanäle. *L* = Gallertröhren.

Fig. 2. Die linke Hälfte der Figur zeigt die Rückseite von Torpedo ocellata nach Entfernung der Haut; an Stelle der entfernten rechten Rumpfhälfte wurde die linke Hälfte nach Auslösung des linken electrischen Organes in geringem Abstande daneben gezeichnet und zwar von der Bauchseite. In dieser Figur sind die Lorenzini'schen Canäle mit Doppellinien angegeben, das Seitencanalsystem dagegen mit einfachen punctirten Linien. Die zu den Lorenzini'schen Canälen gehörigen Ampullen in der Schnauze sind durch einen viereckigen Ausschnitt der bedeckenden fibrösen Platte sichtbar gemacht. Die Reihen der Savi'schen Bläschen sind ebenfalls eingezeichnet.
S.C. = Seitencanäle. — *L* = Lorenzini'sche Ampullen und Canäle. — *S* = Savi'sche Bläschen.

Fig. 3. Rückseite von Raja clavata. Verlauf des Seitencanalsystems. Die ausgezogenen Linien bezeichnen dasselbe soweit es auf der Rückseite des Thieres liegt, die punctirten Linien, soweit es der Bauchseite angehört. Die unterbrochene Linie ist ein variabler Verbindungsast zwischen den beiden vorderen seitlichen Rückenästen.

Ueber die densimetrische Bestimmung des Eiweisses.

Von

Theodor Lohnstein,
Dr. phil. cand. med.

Mit 3 Holzschnitten.

Die quantitative Bestimmung des Eiweisses in thierischen Flüssigkeiten durch Wägung auf der chemischen Waage, besonders in der von Huppert[1]) angegebenen Ausführung gehört zwar zu den einfachsten und genauesten Methoden der physiologischen Chemie, wird aber dennoch verhältnissmässig selten angewandt, weil sie wegen des umständlichen Trocknens der Filter bis zur Gewichtsconstanz relativ lange Zeit erfordert. Dieser Uebelstand hat sich aus erklärlichen Gründen besonders dem ärztlichen Publicum fühlbar gemacht, und es ist daher eine Reihe von Methoden der quantitativen Bestimmung des Albumen ausgebildet worden, welche, auf absolute Genauigkeit verzichtend, eine schnelle annähernde Angabe des Eiweissgehaltes ermöglichen sollen. Ich nenne hier, nach Neubauer-Vogel[2]) citirend, die optischen Methoden von Vogel, Esbach, Christensen, die Methode von Roberts-Stolnikoff, das Esbach'sche Albuminimeter. das densimetrische Verfahren von Lang-Huppert. Neuerdings ist hierzu noch das polarimetrische Verfahren von Daiber[3]) gekommen. Am meisten Verbreitung hat in jüngster Zeit Esbach's Albuminimeter gefunden, sehr mit Unrecht, denn nach der besonders sorgfältigen Untersuchung von Christensen[4]) haften dieser Methode so schwerwiegende Fehlerquellen an, dass in un-

1) Neubauer und Vogel, Analyse des Harns. 9. Aufl. I., 555.

2) Neubauer u. Vogel, Analyse des Harns. 9. Aufl. I., p. 560—565.

3) Daiber, Chemie und Mikroskopie des Harnes, Jena 1894, p. 66. Nach den Resultaten von K. Bülow über das Verhalten der Drehungsconstanten des Eiweisses (dieses Archiv, 58, p. 207—221) wird man sich auch gegen diese neueste Methode einigermaassen ablehnend verhalten müssen.

4) A. Christensen, Virchow's Archiv 115. p. 181.

günstigen Fällen der Fehler dieses „Instruments“ 100 % des wahren Eiweissgehaltes übersteigen kann. Der äussere Erfolg dieser Methode beruht in der That nur auf der ungemein leichten Ausführbarkeit. — Der Wägungsmethode am nächsten kommt nach Huppert's Untersuchung hinsichtlich der Genauigkeit noch das densimetrische Verfahren, indess war es, mit den zur Erreichung brauchbarer Resultate nöthigen Cautelen ausgeführt, bisher so wenig bequem, dass es weiter nicht zu verwundern ist, wenn diese Methode eine grössere Verbreitung sich nicht zu erwerben vermocht hat. Ich stellte mir die Aufgabe, das densimetrische Verfahren von den ihm anhaftenden Uebelständen zu befreien, um so dem Praktiker eine Methode zu liefern, welche, so zuverlässig wie die Bestimmung auf der chemischen Waage, ohne die letztere ihm in kurzer Zeit einen Eiweissgehalt zu ermitteln gestattet. Im Folgenden will ich über die Ergebnisse meiner Bemühungen berichten.

Die physikalische Voraussetzung der in Rede stehenden Methode beruht in der Thatsache, dass das specifische Gewicht s der Lösungen einer Substanz in einem bestimmten Lösungsmittel eine stetige Function des Procentgehaltes p ist, welche schon für mässige Verdünnung den Charakter einer linearen Function trägt. Wird die Temperatur zunächst als constant vorausgesetzt, so können wir demnach schreiben:

$$s = s_0 + \alpha p + \beta p^2 + \ldots$$

Hierin bezeichnet s_0 das specifische Gewicht des reinen Lösungsmittels, α, β, ... sind Coëfficienten, welche der Grössenordnung nach wie die Glieder einer geometrischen Reihe abnehmen. Für kleine p kann man daher, die höheren Potenzen von p vernachlässigend, einfach schreiben:

$$s = s_0 + \alpha p.$$

Diese Betrachtung behält ihre Geltung, wenn statt einer Substanz mehrere, chemisch einander nicht beeinflussende Körper in Lösung sind; für hinreichend kleine Procentgehalte aller dieser ist das specifische Gewicht der Lösung alsdann eine lineare Function jedes einzelnen derselben. Sind n Körper in Lösung, deren Procentgehalte $p_1, p_2 \ldots p_n$ seien, so ist demnach

$$s = s_0 + \alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 + \ldots + \alpha_n p_n.$$

Für die folgenden Betrachtungen genügt es, $n = 2$ vorauszusetzen; denn da es sich um die Ausscheidung nur eines dieser n Körper, in unserem Falle des Eiweisses, handelt, so kann die

Gesammtheit der übrigen in Lösung befindlichen $n-1$ Substanzen in ihrer jeweiligen Mischung als ein physikalischer Körper betrachtet werden. Schreibt man die letzte Gleichung in der Form

$$s = s_0 + \alpha_1 p_1 + \frac{\alpha_2 p_2 + \alpha_3 p_3 + \ldots + \alpha_n p_n}{p_2 + p_3 + \ldots + p_n}(p_2 + p_3 + \ldots + p_n)$$

und setzt man

$$p_2 + p_3 + \ldots p_n = P_1$$

$$\frac{\alpha_2 p_2 + \alpha_3 p_3 + \ldots + \alpha_n p_n}{p_2 + p_3 + \ldots + p} = A_1$$

so erhält man

$$s = s_0 + \alpha_1 p_1 + A_1 P_1,$$

eine Gleichung, welche den mathematischen Ausdruck jener vereinfachenden Annahme darstellt.

Wir nehmen also an, wir hätten es mit einer Lösung zweier Körper in destillirtem Wasser zu thun, der eine derselben lasse sich, ohne dass sonst eine Aenderung in der Zusammensetzung der Lösung eintrete, aus derselben entfernen. Die Aufgabe besteht dann darin, den Gehalt der Lösung an letzterer Substanz aus den specifischen Gewichten der Lösungen vor und nach ihrer Entfernung zu ermitteln. Die beiden Substanzen seien durch die Indices 1 und 2 charakterisirt, s_1 sei das specifische Gewicht vor der Entfernung des Körpers 1, s_2 nach derselben. Man hat alsdann folgende beiden Gleichungen:

$$s_1 = s_0 + \alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2 \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{(a)}$$

$$s_2 = s_0 + \alpha_2 p_2 \frac{100}{100 - p_1} \quad \ldots \ldots \ldots \quad \text{(b)}$$

Bei Aufstellung der Gleichung b) hat man nämlich zu berücksichtigen, dass der Procentgehalt der Substanz 2 in der restirenden Lösung nach Entfernung der Substanz 1 in dem Verhältniss $100 : 100 - p_1$ vergrössert ist. Durch geeignete Combination der Gleichungen a) und b) erhält man

$$s_1 - s_2 = \left(\alpha_1 - \frac{s_2 - s_0}{100}\right) p_1 \quad \ldots \ldots \ldots \quad (1)$$

Die Gleichung zeigt, wie man unter den bisher gemachten Voraussetzungen den Procentgehalt p_1 der ausgefällten Substanz aus der Differenz der specifischen Gewichte der Lösungen vor und nach der Ausfällung zu berechnen hat; sie lehrt, dass der Proportionalitätsfactor dieser Rechnung nicht constant ist, sondern in

einer wenn auch einfachen Weise von s_2-s_0, d. h. dem Ueberschuss des specifischen Gewichts der restirenden Lösung über jenes des Wassers gleicher Temperatur, abhängt.

Zu einem ähnlichen Resultat ist Huppert[1]) gekommen, wenngleich seine Analyse, die sich an Entwicklungen Buddes[2]) anschliesst, von der unseren etwas verschieden ist. Er geht von der Annahme aus, dass bei der Lösung eine Volumenänderung nicht stattfindet, eine Annahme, welche für mässige Concentrationen gestattet ist, und betrachtet die Lösungen dementsprechend als Gemische. Behalten wir im übrigen unsere Bezeichnungen bei, und verstehen wir noch unter σ die Dichte der in Lösung befindlichen Substanz 1 (das ist des Eiweisses), so erhält man für diese Voraussetzung

$$s_1-s_2=\frac{s_1(\sigma-s_2)}{100\sigma}\cdot p_1 \quad \ldots \ldots \ldots \quad (2)$$

Auch hier ist also eine Abhängigkeit des Proportionalitätsfactors von s_1 und s_2 zu constatiren, nur ist dieselbe complicirter als in der Gleichung (1). Dass die beiden Ausdrücke mit einander nicht übereinstimmen, liegt daran, dass sie von verschiedenen Voraussetzungen aus abgeleitet sind; denn während Gleichung (1) für die Abhängigkeit des specifischen Gewichts der Lösung von dem Procentgehalt von der Annahme einer Beziehung $s=s_0+\alpha_1 p_1$ ausgeht, führt die Annahme von Huppert zu einer Gleichung von der Form $s=\frac{s_0}{1-\beta_1 p_1}$. Man kann sich übrigens leicht davon überzeugen, dass für kleine Werthe von p_1 die Gleichungen (1) und (2) practisch ziemlich übereinstimmende Resultate geben.

Von der in den Gleichungen (1) und (2) enthaltenen Methode zur Bestimmung des Eiweisses haben bisher Lang[3]), Haebler[4]), Bornhardt[5]), Budde[6]), Huppert[7]) und Zahor[8]) Gebrauch gemacht. Die Methode enthält mehrere Voraussetzungen,

1) Zeitschrift für physiologische Chemie XII, p. 468.
2) Budde, Bibliothek for Laeger. Bd. 20. 1870.
3) G. Lang, Orvosi Szemle 1862.
4) M. Haebler, Reicherts und DuBois-Reymonds Archiv 1868. p. 397.
5) Bornhardt, Berl. kl. Wochenschr. 1869. Bd. 364.
6) Budde, Bibliothek for Laeger Bd. 20, 1870.
7) Huppert und Zahor, Zeitschr. für physiol. Chemie XII, p. 467.
8) Zahor, ib. p. 484.

deren Verwirklichung zum Theil in der Hand des Ausführenden liegt. Diese Voraussetzungen sind: 1. Die zu untersuchende Flüssigkeit muss von vornherein den Säuregrad besitzen, der zur Ausfällung des gesammten Eiweisses durch Erhitzen nothwendig ist. 2. Bei der Coagulation und der darauf folgenden Filtration darf kein Wasserverlust durch Verdunstung stattfinden. 3. Die Flüssigkeit, mit welcher sich die Coagula imbibiren, muss dieselbe qualitative und quantitative Zusammensetzung haben, wie die durch Filtration erhaltene enteiweisste Flüssigkeit. 4. Es darf bei dem zur Coagulation nothwendigen Kochen der Flüssigkeit keinerlei chemische Umsetzung stattfinden. 5. Berücksichtigung der Temperatur. 6. Benutzung einer zuverlässigen Methode zur Ermittelung der specifischen Gewichte.

Das Bestehen der Voraussetzungen (3) und (4) ist von den oben genannten Autoren offenbar stillschweigend angenommen worden, wenigstens habe ich bei keinem eine Erörterung derselben gefunden. Dass ihr Erfülltsein aber durchaus nichts Selbstverständliches, ja sogar nicht einmal wahrscheinlich ist, dürfte einleuchten, sobald man sich die Frage einmal vorgelegt hat. Wir wollen sehen, inwieweit von den citirten Forschern die übrigen Punkte berücksichtigt sind.

Die Arbeit von Lang ist mir im Original nicht zugänglich gewesen; nach dem Referat von Zahor hat er die Bedingung (2) erfüllt; die Bestimmungen wurden mit einem Araeometer ausgeführt. Ueber die Berücksichtigung der übrigen Punkte habe ich nichts finden können. Der aus Langs Bestimmungen abgeleitete Mittelwerth des Verhältnisses $p:(s_1-s_2)$ beträgt 366,8.

Haebler hat zunächst die Bedingung (1) nicht erfüllt, indem er die zur Coagulation nothwendige Säure erst während des Kochens hinzufügte, das specifische Gewicht s_1 aber von dem nicht angesäuerten Harn nahm; der Nothwendigkeit, die Verdunstung auszuschliessen, war er sich wohl bewusst; die von ihm benutzte Methode, den entweichenden Wasserdampf durch ein Glasrohr condensiren zu lassen, ist nach einem Versuche Zahor's nicht ausreichend. Haebler giebt an, das specifische Gewicht des Harns und des enteiweissten Harnfiltrats bei gleicher Temperatur bestimmt zu haben, aber nicht, wie er für Gleichheit der Temperatur sorgte. Welcher Methode zur Bestimmung des specifischen Gewichts er sich bedient hat, ist aus seiner Arbeit nicht recht ersichtlich. Der

von ihm übrigens nicht ganz richtig berechnete Mittelwerth des Quotienten $p : (s_1 - s_2)$ beträgt 210; derselbe weicht von den Zahlen der übrigen Autoren so erheblich ab, dass wohl irgend ein grober Versuchsfehler vorliegen muss. Die oben erwähnten Fehler seiner Versuchsanordnung müssten nämlich sein Resultat in entgegengesetzter Weise beeinflussen, indem sie eine Vergrösserung des Verhältnisses $p : (s_1 - s_2)$ zur Folge haben. Ich vermuthe, dass Haebler die Temperatur trotz seiner Angabe nicht hinreichend berücksichtigt hat.

Bornhardt hat sich im wesentlichen derselben Anordnung bedient wie Haebler, nur dass er die specifischen Gewichte mit einem (vermuthlich noch die vierte Decimale anzeigenden) Urometer bestimmte. Richtig rechnend, findet man aus seinen Angaben den Werth $p : (s_1 - s_2)$ zu 434. Gleichheit der Temperatur wurde in einwandsfreier Weise erzielt. In Anbetracht der von ihm gemachten Fehler in der Versuchsanordnung ist seine Zahl jedenfalls zu gross ausgefallen.

Budde's Arbeit habe ich nicht einsehen können; übrigens weicht sein Zahlenresultat von jenen Bornhardt's nicht erheblich ab.

Huppert und Zahor übertreffen alle ihre Vorgänger in der Genauigkeit des Arbeitens, indem sie nicht nur den von ihnen untersuchten Flüssigkeiten vorher den nöthigen Säuregrad ertheilten, sondern auch jeden Verlust durch Verdunstung beim Coaguliren und Filtriren sorgfältigst durch geeignete Versuchsanordnung ausschlossen. Zur Bestimmung des specifischen Gewichts bedienten sie sich eines empfindlichen Pyknometers; in der von Huppert und Zahor gemeinschaftlich ausgeführten Arbeit wurden die eiweisshaltige und die enteiweisste Flüssigkeit auf gleiche Temperatur gebracht, während Zahor in seinen Bestimmungen am Harn dem Einfluss der Temperatur wenigstens durch Rechnung gerecht zu werden suchte. Hierbei reicht es allerdings, wie später gezeigt werden soll, nicht aus, die Ausdehnung des Urins mit steigender Temperatur gleich der des Wassers zu setzen. Die Punkte (3) und (4) haben, wie schon oben erwähnt, auch Huppert und Zahor übersehen.

Was nun die Ergebnisse anlangt, so fanden Huppert und Zahor in 20 Bestimmungen, die nicht an Urinen, sondern anderen Eiweissflüssigkeiten der verschiedensten Concentrationen, von 0,5922 bis 5,257 Procent Eiweissgehalt angestellt wurden, für den Quotienten

$p:(s_1-s_2)$ Werthe, die zwischen 348,9 und 417,4 schwanken. Wir haben nun oben gesehen, dass unter den in unsern theoretischen Entwicklungen gemachten Annahmen der Ausdruck für diesen Quotienten $\frac{1}{\alpha_1-\frac{s_2-s_0}{100}}$ ist, wo für s_0 das specifische Gewicht des Wassers bei 17,5° C., der von Huppert und Zahor benutzten Temperatur, zu setzen ist. Berechnet man nun hiernach den Werth von $\frac{1}{\alpha_1}$ aus den verschiedenen Versuchen, so findet man Werthe, die zwischen 339 und 368 schwanken. Etwas besser noch wird das Resultat, wenn wir von unserer Gleichung (2) ausgehen. Für den Ausdruck $\frac{100}{\frac{1}{s_0}-\frac{1}{\sigma}}$, der darin $\frac{1}{\alpha_1}$ entspricht, finden wir Werthe, die zwischen 345 und 370 variiren. Nicht so gut ist die Uebereinstimmung, die Zahor mit seinen an Urinen ausgeführten Bestimmungen erzielte, die Werthe von $\frac{1}{\alpha_1}$, die sich aus seinen Versuchen berechnen lassen, schwanken zwischen 328 und 485, oder, wenn man zwei besonders abweichende Bestimmungen ausschliesst, zwischen 328 und 415. Will man dies Resultat richtig würdigen, so muss man bedenken, dass die Genauigkeit der Bestimmung dieses Factors mit dem Eiweissgehalte der verwendeten Flüssigkeit abnimmt und dass die Werthe für die specifischen Gewichte selbst bei Anwendung guter Pyknometer höchstens in den fünften Decimalstellen noch reelle Bedeutung haben. Die Eiweissgehalte der Urine, die Zahor untersuchte, bewegen sich in dem Intervall von 0,063 bis 0,763 %; dem Urin von 0,063 % gehörte eine Differenz s_1-s_2 im Betrage von 0,000119 zu, eine Zahl, die mit einer Unsicherheit von mindestens $\pm 0{,}000020$, d. i. 17 % behaftet ist: aus demselben Grunde ist die bei dem Urin von 0,763 % gefundene Differenz $s_1-s_2=0{,}001950$ höchstens bis auf 1 % ihres Werthes sicher. Eine wirkliche Fehlerquelle bei Zahor liegt darin, dass er das specifische Gewicht seiner Urine bei Zimmertemperatur bestimmte und durch Rechnung auf 17,5° C. reducirte, wobei er sich der Ausdehnungscoëfficienten des destillirten Wassers bediente, während doch Salzlösungen, worauf wir später noch zurückkommen werden, sich mit steigender Temperatur erheblich stärker ausdehnen als reines Wasser. Wenn

Zahor vermuthet, dass die Löslichkeit des Glases in Wasser als Fehlerquelle wirksam sei, so möchte ich das bezweifeln; die Versuche, die er zur Stütze dieser Ansicht anführt, sind nicht einwandsfrei [1]).

Aus den oben dargelegten Gründen möchte ich den Bestimmungen Zahor's an Urinen geringeres Gewicht beilegen. Den von Zahor in Gemeinschaft mit Huppert ausgeführten Bestimmungen kommt zwar eine grössere Bedeutung zu, immerhin aber zeigen die aus ihnen berechneten Zahlenwerthe des Coëfficienten α_1 unter einander noch zu grosse Schwankungen, um nicht eine nochmalige Untersuchung der Frage zu rechtfertigen.

---

1) Die Zunahme des specifischen Gewichts, die Zahor fand, als er eiweissfreien Urin 25 Minuten in geschlossener Flasche im kochenden Wasserbade erhitzte, betrug in einem Falle 0,00018. Das würde — wenn man der Berechnung einen mittleren densimetrischen Coefficienten der Salze zu Grunde legt — bei Zahors Erklärung einer Zunahme des Gehalts an festen Substanzen im Urin um $^1/_{40}\,^0/_0$, d. h. bei 200 ccm Urin einer Lösung von 0,05 gr Glasbestandtheilen entsprechen, was denn doch kaum glaublich erscheint. Ein solches Verhalten des Glases würde nicht nur das densimetrische Verfahren, sondern auch unzählige andere chemische und analytische Methoden in ihrer Genauigkeit auf's empfindlichste treffen. Ich überzeugte mich aber durch einen besonderen Versuch, dass durch so langes Erhitzen des Urins, wie es zur Coagulation des Eiweisses nöthig ist, keinerlei Zunahme des specifischen Gewichts eintritt. 170 ccm frisch entleerten eiweissfreien Urins wurden durch Wasserzusatz auf 500 ccm gebracht und mit 0,5 ccm concentrirter Essigsäure versetzt, um annähernd die bei der Coagulation stattfindende Acidität herzustellen. 250 ccm der so erhaltenen Flüssigkeit wurden 15 Minuten im offenen Messkolben auf dem siedenden Wasserbade erhitzt. (Die Flüssigkeit im Messkolben befand sich dabei unterhalb ihres Siedepunktes, so dass nichts durch Spritzen verloren ging.) Nach dem Erkalten wurde die Flüssigkeit im Messkolben auf das ursprüngliche Volumen gebracht und nunmehr ihr specifisches Gewicht sowie dasjenige der nicht erhitzten Portion bestimmt. Es ergab sich das specifische Gewicht der erstern Portion zu 1,00575 bei 13,1^0, das der letzteren 1,00557 bei 14,3^0. Der Unterschied der specifischen Gewichte des destillirten Wassers bei 13,1^0 und 14,3^0 beträgt 0,00017, ein normaler dreifach verdünnter Urin dehnt sich, wie aus W. Schmidts Untersuchungen folgt, für jeden Grad um 0,000012 stärker aus als destillirtes Wasser, so dass die theoretische Differenz der beiden specifischen Gewichte 0,00018 beträgt. Derselbe stimmt also mit der beobachteten vollständig überein. Daraus folgt zugleich, dass im allgemeinen bei dem Erhitzen des Urins solche Zusetzungen, welche das specifische Gewicht stärker beeinflussen, nicht zu befürchten sein werden.

Die Aufgabe, die ich mir stellte, war folgende: 1) durch Berücksichtigung der von Huppert und Zahor ausser Acht gelassenen Forderung (3) eine grössere Sicherheit in der Bestimmung der in Betracht kommenden Constante zu erzielen; 2) das Verfahren so zu modificiren, dass von den unbequemen auf Vermeidung der Verdunstung abzielenden Maassnahmen Abstand genommen werden kann. Es gelang in verhältnissmässig einfacher Weise, das Verfahren nach diesen Gesichtspunkten umzugestalten. Was den weiter oben von uns formulirten Punkt (4) anlangt, so ist es offenbar unmöglich, demselben a priori Rechnung zu tragen; man kann eben nur aus dem Grade der Uebereinstimmung der verschiedenen für die theoretische Constante experimentell ermittelten Zahlenwerthe vermuthungsweise Schlüsse ziehen, in wie weit etwa bei den vorzunehmenden Proceduren chemische Umsetzungen vor sich gehen.

Der erste Punkt, in welchem ich das bisherige Verfahren änderte, betrifft den theoretischen Ansatz. Anstatt von Gewichtsprocenten ging ich von Volumprocenten aus. Wenn im Folgenden von einer p-procentigen Eiweisslösung gesprochen wird, so soll also damit gesagt sein, dass in 100 Cubikcentimetern derselben sich p Gramm Albumen befinden. Ist s_1 das specifische Gewicht einer Flüssigkeit, die in 100 ccm p_1 Gramm Albumen und p_2 Gramm der Substanz (2), worunter wir die Gesammtheit aller übrigen in Lösung befindlichen Körper verstehen, enthält, ist endlich s_0 die Dichte des Wassers bei der betreffenden Temperatur, so ist, falls das specifische Lösungsvolumen des Albumen als constant angenommen sind (was für mässige Concentrationen jedenfalls zutrifft),

$$s_1 = s_0 + \alpha_1 p_1 + \alpha_2 p_2.$$

Er werde nun angenommen, es gelänge das Eiweiss und nur dieses aus der Lösung zu entfernen, ferner möge nach der Enteiweissung so viel destillirtes Wasser zugegeben werden, dass die Lösung ihr ursprüngliches Volumen wieder erhält; dann ist offenbar die resultirende eiweissfreie Flüssigkeit in Bezug auf die Substanz (2) nach wie vor p_2-procentig, ihr specifisches Gewicht s_2 also $= s_0 + \alpha_2 p_2$. Demnach ist

$$s_1 - s_2 = \alpha_1 p_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Hiernach ist also das Verhältniss $p_1 : (s_1 - s_2)$ eine Constante, wenn in vorstehend auseinandergesetzter Weise verfahren wird.

Ohne weiteres allerdings lässt sich die Gleichung (3) nicht in die Praxis übersetzen, denn eine wesentliche Voraussetzung derselben, dass durch die Coagulation nur das Eiweiss aus der Lösung entfernt werde, ist in Wirklichkeit eben nie erfüllt, da die Coagula eine erhebliche Menge der übrigen gelösten Substanzen mit niederreissen. Da wir bei unserer Modification des Verfahrens die Coagulation in einem offenen Gefäss vor sich gehen lassen können, so findet ein erheblicher Verlust durch Verdunstung statt, und das Volumen des zuerst erhaltenen Filtrats wird demnach beträchtlich kleiner sein als das ursprünglich verwendete Volumen V_0 der Lösung. Man könnte auf den Gedanken kommen, das Auswaschen des Filters mit so viel destillirtem Wasser, um das Filtrat auf das Ausgangsvolumen V_0 zu bringen, genüge gleichzeitig, aus dem auf dem Filter befindlichen Niederschlag alle wasserlöslichen Stoffe zu entfernen. Beim ersten Versuch nun kann man sich überzeugen, dass dem nicht so ist; man gebraucht ein Vielfaches von V_0 an destillirtem Wasser, um die Coagula auf diese Weise vollständig von den wasserlöslichen Substanzen zu befreien. Es empfiehlt sich daher in der Weise vorzugehen, dass nach dem ersten Filtriren das Filter von dem Trichter abgelöst, in ein Becherglas gebracht und in diesem mit destillirtem Wasser gekocht wird; der so erhaltene Auszug der wasserlöslichen Substanzen aus den Coageln wird nunmehr durch Filtration von dem coagulirten Eiweiss getrennt. Jedes Filtrat wird nach dem Erkalten für sich auf das Volumen V_0 gebracht. Sind alsdann $s_2^{(1)}$ und $s_2^{(2)}$ die specifischen Gewichte beider Filtrate — wobei die Temperatur zunächst als constant angenommen werden soll —, so ist

$$s_2^{(1)} = s_0 + \alpha_2^{(1)} p_2^{(1)}$$

$$s_2^{(2)} = s_0 + \alpha_2^{(2)} p_2^{(2)}$$

und

$$s_2^{(1)} + s_2^{(2)} = 2s_0 + \alpha_2 p_2,$$

da, wie leicht ersichtlich, $\alpha_2^{(1)} p_2^{(1)} + \alpha_2^{(2)} p_2^{(2)} = \alpha_2 p_2$ ist. Demnach ist jetzt:

$$s_1 + s_0 - s_2^{(1)} - s_2^{(2)} = \alpha_1 p_1 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Dies ist die Formel, welche wir unseren Versuchen zu Grunde gelegt haben.

In dem bisherigen Entwicklungen wurde vorausgesetzt, dass die Temperatur aller Flüssigkeiten, deren specifisches Gewicht bestimmt wird, dieselbe sei. Bei unsern Versuchen war dies nun nicht der Fall, und es war daher nöthig, diesem Punkte einige

Aufmerksamkeit zuzuwenden. Dabei zeigte es sich, dass es durchaus nicht genügt, wie Zahor es gethan, die Ausdehnung der Salzlösungen, speciell des Urins, gleich der des destillirten Wassers zu setzen. Nachdem ich dies durch einige Messungen des specifischen Gewichts von Kochsalzlösungen bei verschiedenen Temperaturen festgestellt hatte, fand ich, dass W. Schmidt[1]) dies schon vor langer Zeit ermittelt und speciell für Kochsalz-, Harnstoff- und Eiweisslösungen genauer studirt hatte. Auch zahlenmässig zeigten seine Bestimmungen befriedigende Uebereinstimmung mit meinen Ergebnissen. Betrachtet man den Urin als eine Lösung von 1 % NaCl und 2 % Harnstoff und berechnet man den Einfluss dieser Körper auf die Temperaturcorrection, so findet man, dass sich der normale Urin zwischen 15 ° und 20 ° um 0,000036 für jeden Grad stärker ausdehnt als reines Wasser. Durch die Vernachlässigung dieses Umstandes können besonders bei kleinem Eiweissgehalt recht erhebliche Fehler erzeugt werden; unter der Voraussetzung, dass die Differenz der Temperaturen des Harns und des eiweissfreien Filtrats 1 ° betrug, würde sich z. B. bei einem Urin von dem Eiweissgehalte des eiweissärmsten der von Zahor untersuchten Urine ein Fehler von 30 % durch die Vernachlässigung dieses Theiles der Temperaturcorrection ergeben.

Wie wir schon oben einleitend bemerkt haben, ist die densimetrische Methode der Bestimmung des Eiweisses zu dem Zwecke ersonnen worden, dem Arzte den Gebrauch der theuren und umständlichen chemischen Waage zu ersparen. Daraus geht hervor, dass der Nutzen des Verfahrens, wie auch schon Huppert und Zahor betonen, völlig illusorisch wird, falls man sich zur Ermittelung des specifischen Gewichts des eine gute chemische Waage bedingenden Pyknometerfläschchens bedient. Man benöthigt dazu vielmehr eines Araeometers, mit welchem man schnell und mit a priori zu übersehender Genauigkeit das specifische Gewicht bestimmen kann. Dass dieser Anforderung die Skalenaraeometer nicht genügen und auch nicht genügen können, habe ich in zwei früheren Publicationen[2]) eingehend nachgewiesen. Wie Zahor richtig bemerkt, verlangt die densimetrische Methode auch für klinische

---

1) Pogg. Ann. Bd. 107, p. 244; Bd. 114, p. 337.

2) Allg. med. Centralzeitung No. 31. 1894. Zeitschrift für Instrumentenkunde, Mai 1894 p. 164.

Zwecke Araeometer, mit denen man mindestens die vierte Decimale bestimmen kann. Er irrt sich aber, wenn er glaubt, dass man mit einem Satz von Urometerspindeln, deren jede das Intervall 0,01 der specifischen Gewichte umfasste, diesen Zweck erreichen könnte. Wenn man, wie ich es in den erwähnten Publicationen gethan habe, den Einfluss der Capillarität als Fehlerquelle auf die Angaben der Araeometer rechnend verfolgt, so kommt man bald zu dem Resultate, dass man mit dem von Zahor vorgeschlagenen Satze von nur 5 Skalenaraeometern unmöglich ausreichen würde. Man findet nämlich, dass, wenn man die mögliche Variabilität der Oberflächenspannung nur zu $33\,{}^{1}/_{3}\,\%$ ihres Maximalwerthes annimmt — was gewiss keinem Kenner der einschlägigen Verhältnisse zu hoch erscheinen dürfte — und wenn man den Durchmesser der Urometerspindel zu 4 mm ansetzt, die durchschnittliche Entfernung zwischen den einzelnen, ein Intervall von 0,0001 repräsentirenden Theilstrichen der Skala 5 mm betragen müsste, wenn man den möglichen Fehler nur auf eine halbe Einheit der 4. Decimale, d. h. auf 0,00005 herabdrücken will. Die Skalenlänge eines der von Zahor projectirten Urometer müsste demnach nicht weniger als ca. 500 mm, und sein Volumen ca. 630 ccm betragen; es braucht wohl nicht näher auseinandergesetzt zu werden, warum solche Instrumente höchst unpraktisch wären. Dazu kommt noch ein Umstand. Die Capillarität würde, abgesehen von der durch ihre Schwankungen bei einer und derselben Flüssigkeit bedingten Unsicherheit noch dadurch zu einer Quelle ganz erheblicher Fehler werden, weil die enteiweisste Flüssigkeit nothwendigerweise eine ganz andere Capillaritätsconstante hat als die ursprüngliche eiweisshaltige. Wollte man auch diesem Umstande durch Skalenaraeometer Rechnung tragen, so müsste man solche Instrumente entweder in noch viel grösseren — geradezu ungeheuerlichen — Dimensionen construiren, oder man müsste — was eine schwierige Messung darstellen würde — auch noch jedesmal die Capillaritätsconstanten (Oberflächenspannung und Randwinkel) beider Flüssigkeiten bestimmen. Kurz, es dürfte einleuchten, dass sich die Anwendung der Skalenaraeometer in irgend einer Gestalt bei der densimetrischen Methode von selbst verbietet.

Die dargelegte Schwierigkeit in Betreff des Araeometers besteht gegenwärtig nicht mehr, nachdem es mir bereits vor mehreren Jahren gelungen ist, ein Araeometer zu construiren, welches

von dem störenden Einfluss der Capillarität gänzlich befreit ist und mit Leichtigkeit in wenigen Minuten das specifische Gewicht einer Flüssigkeit bis zur fünften Decimale zu ermitteln gestattet. Ich habe dasselbe in zwei verschiedenen Formen ausführen lassen, als Universalaraeometer für das Intervall 0,7 bis 2,0 und als Urometer für das Intervall 1,0 bis 1,1 [1]). Da die Beschreibung dieser Instrumente an weniger zugänglichen Orten gegeben ist, so will ich ihr Princip hier noch einmal kurz erörtern und eine Beschreibung des Urometers anschliessen.

Man denke sich einen oben offenen und cylindrischen, eben abgeschliffenen Schwimmkörper. Bringt man einen solchen Schwimmer in eine ihn benetzende Flüssigkeit, z. B. Wasser, und belastet ihn mit Bleischrot, so schwimmt er von einer gewissen Grösse der Belastung an aufrecht. Bei weiterer Belastung sinkt er so weit

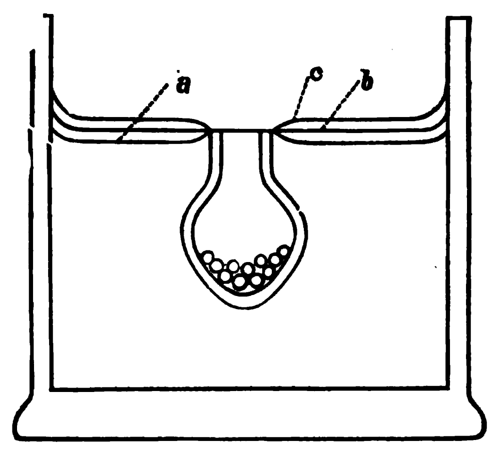


Fig. 1.

ein, dass die Flüssigkeit, einen Capillarwulst bildend, das cylindrische Endstück benetzt. Fügt man vorsichtig noch mehr Belastung hinzu, so wird ein Moment eintreten, wo die obere Berührungslinie der Flüssigkeit und des Schwimmkörpers mit der oberen Kante des Schwimmers zusammenfällt, demnach die ganze Oberfläche desselben benetzt ist (Fig 1 a). Fortgesetzte vorsichtige

---

1) Allg. med. Centralzeitung No. 31, 1894. Die Anfertigung der gesetzlich geschützten Instrumente ist vorläufig der Firma L. Reimann zu Berlin S.O., Schmidstrasse 32, übertragen.

Belastung hat nunmehr den Effect, den über das Niveau gehobenen Flüssigkeitsring mehr und mehr abzuflachen, bis er schliesslich bei einer bestimmten Belastung überhaupt verschwunden ist und die Oberfläche der Flüssigkeit den oberen Endschnitt des Schwimmkörpers als eine glatte Horizontalebene umgiebt (Fig. 1 b). Fügt man noch weitere Belastungsstücke hinzu, so bildet sich um die obere Randkante des Schwimmers ein nach aussen convexer Flüssigkeitswall aus (Fig. 1 c), der eine beträchtliche Höhe erreichen kann (bei destillirtem Wasser und einem Durchmesser des oberen Randes von ca. 5 mm 2—3 mm), ehe der Schwimmer sinkt. Wovon das letztere abhängt, darauf soll hier nicht näher eingegangen werden, es genügt zu wissen, dass das Vorhandensein einer convexen Krümmung auf eine Ueberlastung des Schwimmers hinweist. In der eben erwähnten Anordnung (Fig. 1 b), bei welcher an der scharfen Kante keine Krümmung vorhanden ist, gilt nun das archimedische Princip in voller Strenge. Es ist das Gewicht des Schwimmers (einschliesslich der Belastung) streng gleich dem Gewicht der verdrängten Flüssigkeit. Nun lässt sich jene Anordnung nicht immer erreichen, da bei ihr eine

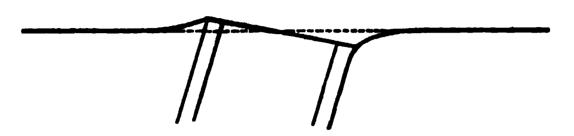


Fig. 2.

ganz bestimmte Vertheilung der Massen im Innern des Schwimmers vorausgesetzt ist, eine Anordnung nämlich, bei welcher der geometrische Schwerpunkt des Schwimmkörpervolumens und der mechanische (Massen-)Schwerpunkt des Schwimmers in einer geraden Linie liegen, die senkrecht zur Ebene des Schwimmerrandes steht. Ohne besondere Hülfsvorrichtung wird diese Bedingung nur selten erfüllt sein; glücklicherweise giebt es aber unzählige andere Anordnungen, bei denen das archimedische Princip ebenfalls ohne Correction angewendet werden kann. Denken wir uns nämlich den oben geschilderten Belastungsprocess mit einem nicht ganz gleichmässig angeordneten Schwimmer vorgenommen, so wird, weil der obere Querschnitt nicht genau horizontal ist, die Krümmung der Oberfläche längs seines Umfangs variiren, deshalb findet das Verschwinden der Krümmung zuerst an einer Stelle der Randkante

statt, während an den übrigen noch concave Krümmungen vorhanden sind. An ersterer Stelle und den benachbarten entstehen bei weiterer Belastung convexe Krümmungen, wogegen an den diametral gegenüberliegenden die Concavität der Krümmung noch erhalten bleibt. Es lässt sich folglich eine Anordnung erzielen, bei welcher die convexen Krümmungen die eine, die concaven Krümmungen die andere Hälfte der Peripherie des oberen Schwimmerrandes einnehmen[1]) (Fig. 2). Auch bei solcher Anordnung gilt, wie aus der Theorie leicht zu beweisen, übrigens wohl ohne besondere Begründung einleuchtet, dass das Gewicht des belasteten Schwimmers gleich dem Gewicht eines dem Schwimmkörpervolumen gleichen Volumens der Flüssigkeit ist. Eine Anordnung dieser Art, deren es entsprechend den unendlich vielen denkbaren Neigungen der Ebene des Schwimmerrandes gegen den Horizont eine unendlich grosse Zahl giebt, soll im Folgenden als eine archimedische Araeometeranordnung bezeichnet werden.

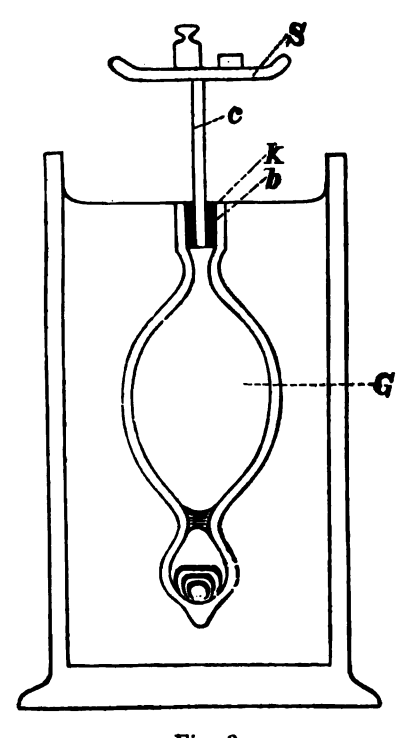


Fig. 3.

Das Auseinandergesetzte genügt zum Verständniss des von mir construirten Araeometers (Fig. 3). Dasselbe besteht aus dem Glaskörper (*G*), der an seinem unteren Ende in einer Birne Quecksilber abgeschlossen enthält und oben bei (*k*) mit einem scharfkantig abgeschliffenen cylindrischen Endstück abschliesst. In das offene Lumen des letzteren ist der Hartgummiring *b* eingekittet,

1) Das Vorhandensein dieser Anordnung ist durch Beobachtung der von der Flüssigkeitsoberfläche längs der Kante *k* ausgehenden Reflexe leicht zu constatiren.

durch dessen Mitte der Stab c geht, der oben die Belastungsschale S trägt. Das Gewicht des unten befindlichen Quecksilbers kann so gewählt werden, dass der unbelastete Apparat bei 15° C. in einer Flüssigkeit von beliebig festzusetzender Dichte in archimedischer Anordnung schwimmt. In den als Urometer von mir beschriebenen Instrumenten ist diese Dichte auf 1,0000 festgesetzt worden. Für die Zwecke der vorliegenden Arbeit war es aber nöthig, bisweilen das specifische Gewicht von wässrigen Lösungen zu bestimmen, die aufgelöste Stoffe in so geringer Menge enthielten, dass ihre Dichte bei Zimmertemperatur den Betrag 1,00 noch nicht erreichte. Ich liess mir daher ein Araeometer verfertigen, welches unbelastet bei 15° C. in einer Flüssigkeit von 0,99 Dichte die archimedische Anordnung darbot.

Befindet sich der Apparat nun in einer Flüssigkeit, deren specifisches Gewicht grösser ist als 0,99, so ist, um eine archimedische Anordnung hervorzubringen, die Hinzufügung weiterer Belastung erforderlich. Die dazu nothwendigen Gewichte werden einem Gewichtsatz entnommen, der aus 8 oder 12 oder 16 Gewichtsstücken besteht, je nachdem man die Dichte auf 3, 4 oder 5 Decimalen zu bestimmen beabsichtigt. Die Entnahme der Gewichtsstücke erfolgt wie bei einer gewöhnlichen Wägung. So erhält man schnell (in wenigen Minuten) die archimedische Anordnung. Die einzelnen Stücke, welche entsprechende Bezeichnungen tragen, repräsentiren folgende Incremente des specifischen Gewichts:

0,05,	0,02,	0,02,	0,01
0,005,	0,002,	0,002,	0,001
0,0005,	0,0002,	0,0002,	0,0001
0,00005,	0,00002,	0,00002,	0,00001.

Hat die Flüssigkeit z. B. das spezifische Gewicht 1,04356, so muss man auf die Schale legen

von der ersten Reihe das erste Stück,
von der zweiten Reihe die beiden letzten,
von der dritten Reihe das erste,
von der vierten Reihe das erste und letzte Stück,

(denn $1{,}04356 = 0{,}99 + 0{,}05 + 0{,}002 + 0{,}001 + 0{,}0005 + 0{,}00005 + 0{,}00001$).

Es liegt in der Natur der Sache, dass die Angaben eines solchen Instruments nur bei einer bestimmten Temperatur ohne Correction giltig sind. Wir haben, wie oben erwähnt, die Normal-

temperatur auf 15° C. festgesetzt; hat die Flüssigkeit die Temperatur t, so muss man das abgelesene specifische Gewicht mit dem Factor 1 — 0,000025 (t — 15) multipliziren, um das wirkliche spezifische Gewicht der Flüssigkeit bei der Temperatur t zu erhalten. Das Volumen des Schwimmkörpers für 5 Decimalen beträgt 100 ccm, der Durchmesser des oberen Randes 3 bis 4 mm. Eine Belastungsänderung von 1 mg, entsprechend einer Einheit der 5. Decimale, bringt bei diesem Durchmesser eine deutlich ausgesprochene Krümmungsänderung an der Kante hervor, so dass die 5. Decimale mit Schärfe bestimmt werden kann. Die Temperatur der Flüssigkeit wurde mit einem in Fünftelgrade getheilten Thermometer bestimmt.

Meine Versuche stellte ich theils mit Eiweisslösungen, theils mit Urinen an. Erstere wurden nach der Vorschrift von Huppert aus Hühnereiern dargestellt und durch Zusatz geeigneter Mengen einer 10%igen Kochsalzlösung auf verschiedene Dichten gebracht. Für die Ausbildung des schliesslich inne gehaltenen Verfahrens waren einige Versuche maassgebend, die ich über das Verhalten der Eiweisscoagula in Bezug auf die in ihnen enthaltenen Salze anstellte. Ich fand, dass, je geringer der Eiweissgehalt, relativ um so mehr feste Substanzen von dem Eiweissniederschlage mitgerissen werden, ferner dass, wenn man die wasserlöslichen Stoffe aus dem Coagulum entfernen will, man mindestens die fünffache Menge heissen destillirten Wassers zum Auswaschen des Filters verwenden muss, um gute Resultate zu erhalten. Für die quantitative Beurtheilung dieser Verhältnisse erwies sich die Bestimmung des spezifischen Gewichts der so erhaltenen Filtrate als bequeme und völlig ausreichende Methode.

Das Verfahren gestaltete sich demnach folgendermassen. Gegen 300 ccm der zur vollständigen Coagulation ausreichend angesäuerten Flüssigkeit gelangten jedesmal zur Verwendung. Von derselben wird das spezifische Gewicht s_1 bestimmt und die zugehörige Temperatur t_1 notirt. Darauf werden in einem 250 ccm haltenden Messkolben — dessen Hals in der Höhe des Messstriches höchstens 6 mm lichte Weite haben darf, — 250 ccm der Flüssigkeit abgemessen und dieselbe in ein etwa 500 ccm fassendes Becherglas vollständig übergespült. Es folgt im Wasserbade Coagulation, zu deren Vollendung etwa 15 — 20 Minuten nothwendig sind, nunmehr Filtration in ein zweites Becherglas, und nachdem das Filter mit dem Eiweissniederschlage vorsichtig vom Trichter

abgelöst ist, werden die an dem letzteren haftenden Flüssigkeitsreste mit einigen Cubiccentimetern destillirten Wassers in das zweite Becherglas übergespült, während das Filter mit ca. 200 ccm destillirten Wassers in das erste Becherglas gebracht und etwa 10 Minuten erhitzt wird. Filtration in ein drittes Becherglas. (Nöthigenfalls — bei sehr reichlichem Eiweissgehalt — kann die Extraction des Eiweissniederschlages auch in zwei Fractionen vorgenommen werden, indem jedesmal 100 ccm Wasser zur Anwendung gelangen.) Die beiden Filtrate werden nunmehr im Wasserbade auf Zimmertemperatur abgekühlt, nacheinander in den Messkolben gegossen und mit destillirtem Wasser auf 250 ccm aufgefüllt. Endlich werden nach einander die spezifischen Gewichte s_2 und s_3 der beiden Filtrate bestimmt.

Um über die Brauchbarkeit des Verfahrens ein Urtheil zu gewinnen, wurden zunächst von einer Eiweisslösung, die als Stammlösung diente, durch Abmessen bestimmter Mengen derselben und Zusatz von Kochsalzlösung 4 Lösungen hergestellt, deren Eiweissgehalt also zwar nicht absolut, wohl aber ihrem Verhältnisse nach bekannt war. Die nachfolgende Tabelle enthält die Resultate dieser Bestimmungen. Wie aus der später folgenden Bestimmung der Constante sich ergibt, hatte die Lösung 1 einen Gehalt von 0,194 Volumprozent Eiweiss. Unter p_r sind die relativen Volumprozente aufgeführt, wobei der Gehalt der Lösung 1 als Einheit genommen ist. Unter s_1, s_2, s_3 sind die spezifischen Gewichte der Lösung und der beiden Filtrate aufgeführt, unter t_1, t_2, t_3 die zugehörigen Temperaturen, unter Δ die in Einheiten der 5. Decimale angegebene reducirte Differenz der spezifischen Gewichte, d. h. die linke Seite der Gleichung (4), wobei für s_0 das spezifische Gewicht des destillirten Wassers bei der Temperatur t_1 gesetzt ist, während s_2 und s_3 nach den früher auseinandergesetzten Prinzipien auf die Temperatur t_1 corrigirt sind. (Zu diesem Ende ist es praktisch, sich eine aus jedem grösseren Lehrbuche der Physik zu entnehmende Tabelle für die Dichtigkeiten des destillirten Wassers zwischen 10° und 25° zum Gebrauche bereit zu halten.) An dem Beispiel der Lösung 3 wollen wir die Ausführung der Correctionsrechnungen erläutern. In demselben ist

$$s_1 = 1{,}00302,\ t_1 = 18{,}90;\ s_2 = 1{,}00148,\ t_2 = 19{,}40;$$
$$s_3 = 0{,}99882,\ t_3 = 19{,}30.$$

Hiernach ist

$s_0 = 0,99849$, s_2 (auf 18,90° corrigirt) $= 1,00148 + 0,00010 = 1,00158$,

$$s_3 = 0,99882 + 0,00008 = 0,99890.$$

Der von dem Kochsalzgehalt der beiden Filtrate herrührende Theil der Temperaturcorrection beträgt in diesem Beispiel 0,000004, kann also vernachlässigt werden. Wir erhalten demnach

$$\Delta = 1,00302 + 0,99849 - 1,00158 - 0,99890 = 0,00103.$$

Das Verständniss der folgenden Tabelle dürfte hiernach leicht sein.

Tabelle 1.

No.	p_r	s_1	s_2	s_3	t_1	t_2	t_3	Δ	Δ_r
1	1	1,00323	1,00240	0,99880	20,15	19,60	19,35	54	1
2	1,29	1,00266	1,00176	0,99894	16,8	17,1	17,4	68	1,26
3	2,00	1,00302	1,00148	0,99882	18,9	19,4	19,3	103	1,93
4	3,72	1,01332	1,00778	0,99967	14,3	14,9	15,0	194	3,60

Man sieht, dass die Verhältnisse der „reduzirten Differenzen“ Δ, die in der letzten Columne unter Δ_r zusammengestellt sind, eine befriedigende Uebereinstimmung mit den p_r zeigen. Die noch vorhandenen Differenzen erklären sich leicht durch die Schwierigkeit einer ganz genauen Bestimmung der mittleren Temperatur in einem 18 cm hohen Cylinder, wie er zur Ermittelung des spezifischen Gewichts mit unserem Araeometer gebraucht wurde. Nimmt man an, dass jede Temperaturbestimmung mit einer Unsicherheit von $\pm 0,05°$ behaftet ist, so würde sich für das Δ des Versuchs 1 ergeben $\Delta = 54 \pm 3$; mit $\Delta = 52$ würde nun eine noch viel bessere Uebereinstimmung erzielt werden.

Nachdem in dieser Weise die Methode als eine völlig zuverlässige sich erwiesen hatte, wurde zur Bestimmung des Coefficienten α_1 geschritten. Hierzu war es nothwendig, den Eiweissgehalt der Lösungen auch durch Wägung zu bestimmen, was nach den von Huppert[1]) gegebenen Vorschriften geschah.

Die folgende Tabelle enthält die Resultate dieser Messungen. Unter p sind hier die durch die Wägungsmethode ermittelten Eiweissgehalte als Volumprozente in der oben erklärten Weise an-

1) Neubauer und Vogel, Analyse des Harns, 9. Aufl., I. p. 535.

gegeben. Die letzte Columne giebt unter F den reciproken Werth von α_1, berechnet nach (4) als $\frac{p}{s_1 + s_0 - s_2 - s_3}$.

Tabelle 2.

No.	p	s_1	s_2	s_3	t_1	t_2	t_3	Δ	F
1	3,858	1,02280	1,00933	1,00262	17,72	17,80	17,95	956	351,2
2	3,010	1,02085	1,00965	1,00123	19,53	19,85	19,15	833	361,1
3	2,430	1,01416	1,00693	0,99990	18,50	19,07	19,20	664	366,1
4	2,827	1,01766	1,00830	1,00114	17,62	18,00	18,30	775	364,3
5	2,724	1,01596	1,00612	1,00079	18,38	18,60	18,40	766	356,9

Als Mittelwerth der F ergibt sich hienach

$$F = 359,92.$$

Die Uebereinstimmung der einzelnen F muss als durchaus befriedigend bezeichnet werden, wenn man bedenkt, dass (wie eine Tabelle Huppert's zeigt) zwei verschiedene Wägungsbestimmungen des Eiweisses derselben Flüssigkeit Differenzen bis zu 5 % der zu ermittelnden Grösse ergeben können; die Differenzen der vorstehenden Bestimmung dürften also zum Theil auf die Fehlerquellen der Wägungsbestimmungen zurückzuführen sein.

Für α_1 ergibt sich somit

$$\alpha_1 = \frac{1}{F} = 0,00278,$$

dies ist also der Betrag, um welchen 1 Volumenprocent Albumen in saurer Lösung das spezifische Gewicht einer Flüssigkeit erhöht.

Das vorstehend erhaltene Resultat wurde nun an einer Reihe von eiweisshaltigen Urinen, sowie an einer Hydrocelenflüssigkeit auf seine Brauchbarkeit geprüft. Ein Zufall fügte es, dass mir neben eiweissarmen auch ziemlich eiweissreiche Urine zur Verfügung standen, so dass sich das Verfahren für alle vorkommenden Grössenordnungen des Eiweissgehaltes prüfen liess.

Die Urine wurden mit Essigsäure in dem zur vollständigen Coagulation nothwendigen Grade angesäuert und erst der angesäuerte Urin zur Bestimmung von s_1 benutzt. Im Uebrigen unterschied sich das Verfahren in nichts von dem bei den Eiweisslösungen inne gehaltenen. Zur Berechnung des densimetrisch er-

haltenen Eiweissgehaltes wurde an Stelle von 359,92 einfacher 360 als Factor benutzt, was offenbar der Fehlergrenze nach völlig erlaubt ist. Die Tabelle enthält unter p_w den auf der Waage, unter p_d den densimetrisch berechneten Eiweissgehalt, unter δ die Differenz $p_w - p_d$.

Tabelle 3.

No.	s_1	s_2	s_3	t_1	t_2	t_3	Δ	p_w	p_d	δ
1	1,01718[1])	1,01296	0,99920	21,4	21,5	21,65	298	1,028	1,073	—0,045
2	1,01043[1])	1,00439	1,00037	24,05	25,05	23,00	304	1,127	1,094	+0,033
3	1,01171[2])	1,01014	0,99826	23,58	24,10	24,00	80	0,295	0,288	+0,007
4	1,01191[2])	1,00948	0,99941	22,45	21,75	22,35	92	0,340	0,331	+0,009
5	1,00787[3])	1,00745	0,99846	20,15	20.40	20,30	10	0,039	0,036	+0,003
6	1,00703[3])	1,00506	0,99898	22,15	23,05	23,50	24	0,086	0,086	+0,000
7	1,00485[4])	1,00101	0,99859	20,97	19,10	21,00	370	1,390	1,332	+0,058

Auch die vorstehende Tabelle bietet eine durchaus befriedigende Uebereinstimmung in den Resultaten der Wägungsanalyse und der densimetrischen Bestimmung dar. Die grösste Abweichung in Prozenten der zu bestimmenden Grösse gerechnet, zeigt die Bestimmung (5); die Differenz beträgt hier 8%. In den übrigen Bestimmungen ist das Maximum der Abweichungen 4,3%. Bedenkt man, dass, wie schon oben erwähnt, auch bei zwei verschiedenen Wägungsbestimmungen Abweichungen von einander bis zu 5% vorkommen, und dass somit (da stets nur eine Wägungsbestimmung ausgeführt wurde), ein Theil der Differenzen auf Rechnung der Wägungsanalysen zu setzen ist, ferner, dass durch die Verschiedenheit der Temperaturen Fehlerquellen eingeführt werden — $^1/_{20}$° C. entspricht schon 1 Einheit der fünften Decimale — so wird man zugeben, dass bei sorgfältiger Ausführung das densimetrische Verfahren der Wägungsanalyse fast gleichwerthig ist. Ferner ergibt sich aus dem erzielten guten Resultate, dass im Allgemeinen auch die Forderung (4), dass die Coagulation in der

1) Urin von schwerer Nephritis bei Syphilis. In No. 2 sind 136 ccm Urin mit 170 ccm destillirten Wassers gemischt, so dass der ursprüngliche Urin 2,5% Albumen enthielt.

2) Stammt von einer Amyloidniere.

3) Schrumpfniere.

4) Durch Verdünnen von 100 ccm einer Hydrocelenflüssigkeit auf 300 ccm erhalten. Erstere enthielt also 4% Eiweiss.

Hitze keine eingreifenderen Zersetzungen bedinge, von selbst erfüllt ist. Dabei soll allerdings nicht gesagt sein, dass nicht einmal in irgend einem speziellen Falle vermöge der besonderen Beschaffenheit des Urins Zersetzungen vorkommen, welche die densimetrische Bestimmung in der geschilderten Ausführung illusorisch machen.

Dem in den vorstehenden Bestimmungen inne gehaltenen Verfahren haften indess noch einige Nachtheile an, die es für die praktische Ausführung etwas unbequem erscheinen lassen. Erstens die Nothwendigkeit, dem Urin vor der Bestimmung von s_1 den zur vollständigen Coagulation nöthigen Säuregrad zu ertheilen, zweitens die Nothwendigkeit, drei spezifische Gewichtsbestimmungen vorzunehmen, und endlich möchten drittens die durch die Verschiedenheit der Temperaturen bedingten Correctionsrechnungen manchem etwas umständlich erscheinen. Man kann diesen Schwierigkeiten sehr einfach entgehen, wenn man künftig das Verfahren folgendermassen ausführt.

Man entnehme dem zu untersuchenden Urine zwei Proben von je 125 ccm. Die eine stelle man bei Seite, die andere verwende man zur Coagulation. Nachdem in letzterer die den Beginn der Coagulation anzeigende Trübung begonnen hat, setze man vorsichtig einige Tropfen concentrirter Essigsäure hinzu, so dass nunmehr grossflockige Gerinnung eintritt. Setzt man nach 5 Minuten noch 1 — 2 weitere Tropfen concentrirter Essigsäure hinzu und lässt das Becherglas nunmehr noch 5 — 10 Minuten im Wasserbade stehen, so kann man in der Mehrzahl der Fälle sicher sein, dass alles Eiweiss abgeschieden ist. Die Zahl der im Ganzen zugesetzten Tropfen der Essigsäure merke man sich. Mit dem Filterrückstand verfahre man wie früher geschildert. Man giesse die beiden Filtrate nunmehr zusammen, so dass ihr Volumen vorläufig etwas weniger als 250 ccm ausmacht. Man setze nun zu den bei Seite gestellten 125 ccm Urins eben so viel Tropfen concentrirter Essigsäure hinzu, wie man bei der Coagulation zu der ersten Probe geben musste, bringe sie durch Zusatz von destillirtem Wasser auf 250 ccm, und setze nun beide Flüssigkeiten, die eiweissfreie und den verdünnten Urin, in ein Gefäss mit Wasser, das man der Leitung entnimmt. Nachdem die eiweissfreie Flüssigkeit hinlänglich abgekühlt ist, setzt man zu ihr noch so viel destillirtes Wasser hinzu, dass sie ebenfalls das Volumen 250 ccm annimmt. Zum Schlusse

bestimmt man von beiden Flüssigkeiten die spezifischen Gewichte. Deren Differenz, multiplizirt mit $2 \times 360 = 720$, ergibt den Eiweissgehalt. Der Umstand, dass man hier beide Bestimmungen des spezifischen Gewichts bis zuletzt aufschiebt und die Flüssigkeiten im Wasserbade die gleiche Temperatur annehmen lässt, lässt uns die verschiedenen Temperaturbestimmungen und Correctionsrechnungen ersparen, denn die kleine Abhängigkeit des Coefficienten α_1 von der Temperatur, die jedenfalls besteht, und auf welche auch die von W. Schmidt (allerdings nicht an reinen Eiweisslösungen) ausgeführten Bestimmungen hinweisen, ist so gering, dass sie bei der Berechnung ausser Acht bleiben kann.

Ein neues densimetrisches Verfahren der Eiweissbestimmung.

Die Möglichkeit, dass bei der zur Coagulation des Eiweisses vorzunehmenden Procedur in den übrigen Bestandtheilen des Urins Zersetzungen vor sich gehen, welche ihrerseits ebenfalls das spezifische Gewicht der abfiltrirten eiweissfreien Flüssigkeit beeinflussen, kann, wie schon oben bemerkt, nicht ganz ausgeschlossen werden. Dieser Umstand bewog mich, eine Modifikation des densimetrischen Verfahrens zu ersinnen, welche auch von dieser Einschränkung frei ist. Der Gedanke, der mich leitete, war einfach der, das abgeschiedene Eiweiss in einer bekannten Flüssigkeit aufzulösen und aus der Zunahme des spezifischen Gewichtes desselben die Menge des aufgelösten Eiweisses zu bestimmen. In folgender Weise habe ich diesen Gedanken zur Ausführung gebracht. Das Volumen v einer concentrirten Lösung von Natronlauge wird durch Zusatz von destillirtem Wasser auf das Volumen V gebracht. Man erhält so eine Laugenlösung bestimmter Verdünnung, welcher, bei feststehendem Verhältniss $v : V$, ein ganz bestimmtes spezifisches Gewicht zugehört. Von der Eiweisslösung, die in 100 ccm p Gramm Albumen enthalten möge, werden V ccm entnommen, das Eiweiss wird ausgefällt und in der früher geschilderten Weise von den wasserlöslichen Substanzen befreit (eventuell kann man noch mit Alkohol und Aether auswaschen). Das reine, nur wasserhaltige Eiweisscoagulum wird nunmehr in ein Becherglas gebracht (mit einem Hornlöffel oder Hornspatel kann man es sehr bequem und ohne von dem Filtrirpapier etwas mitzunehmen, vom Filter ablösen), v ccm der unverdünnten Natronlauge hinzugegeben, noch

etwas destillirtes Wasser zugesetzt. Geringe Eiweissmengen lösen sich ohne Erwärmen auf, bei grösseren erwärmt man im Wasserbade. Nachdem vollständige Lösung stattgefunden, wird soviel destillirtes Wasser zugesetzt, dass das Volumen nach dem Erkalten auf Zimmertemperatur wieder V wird. Das spezifische Gewicht dieser Eiweisslösung wird offenbar die Dichte der ersten Lösung um eine bestimmte Grösse übertreffen, welche proportional ist dem Eiweissgehalt p, denn die beiden Lösungen haben gleiches Volumen, enthalten in diesem Volumen die gleiche Menge NaOH, und unterscheiden sich nur durch die $\frac{p}{100} V$ gr Eiweiss, welche die zweite als Alkalialbuminat enthält.

Bestimmt man nun nach Festsetzung von v und V ein für allemal das spezifische Gewicht der ersten Lösung bei den in Betracht kommenden Temperaturen (wobei natürlich auch die Stammlösung der NaOH von Zeit zu Zeit auf ihr spezifisches Gewicht controlirt werden muss), so bedarf es zur Ermittelung des Eiweissgehaltes nach dieser Methode offenbar nur einer einzigen Bestimmung eines spezifischen Gewichts.

Ist s_1 das spezifische Gewicht der Vergleichsnatronlaugenlösung, s_2 das spezifische Gewicht der Albumennatronlaugenlösung so ist also

$$s_2 = s_1 + \beta . p$$

und somit $p = \frac{1}{\beta} (s_2 - s_1)$.

Die Bestimmung des Coefficienten $\frac{1}{\beta}$ wurde gerade so wie früher jene von $\frac{1}{\alpha_1} = F$ an Hühnereiweisslösungen vorgenommen, deren Eiweissgehalt auf der Waage bestimmt wurde. Die Volumina v und V müssen mit einer gewissen Sorgfalt abgemessen werden. Es kommt auf den Zahlenwerth von v und V dabei natürlich gar nicht an. Ich verwendete zu diesen Bestimmungen nicht das oben beschriebene Araeometer mit dem Schwimmkörpervolumen 100 ccm, sondern, um geringere Flüssigkeitsmengen verwenden zu können, ein kleineres Instrument von 20 ccm, welches allerdings nur einen auf 4 Decimalstellen berechneten Gewichtssatz enthält, aber durch Beurtheilung der Krümmungsverhältnisse an der scharfen Kante des oberen Schwimmkörperendes noch Viertel einer Einheit der vierten Decimale zu schätzen erlaubt. v betrug gegen 5 ccm, ich

stellte es mir dadurch her, dass ich ein graduirtes 5 ccm haltendes Messgläschen von etwa 8 mm lichter Weite an seinem obersten Theilstrich abschneiden und scharf abschleifen liess; man kann ein solchen Glas bequem so füllen, dass die Flüssigkeit an der inneren Kante des oberen Endes ohne Meniscus, resp. in der der früher beschriebenen „Archimedischen Anordnung" entsprechenden Weise — die eine Hälfte der Peripherie mit schwach concavem, die andere mit schwach convexem Meniscus — sich befindet. In dieser Weise gelang es also, ein bestimmtes Volumen ohne Wägung genau abzumessen[1]). (Das nach dem ersten Ausgiessen adhaerirende Restquantum wird mit destillirtem Wasser in das zur Bereitung der Lösung dienende Becherglas nachgespült). V war in meinen Versuchen etwa 55 ccm; als Messgefäss für dieses diente ein Kolben, dessen Hals an der Stelle der Marke eine lichte Weite von etwas weniger als 3 mm hatte. Bei dieser Weite fliesst aus einem Kolben beim Umkehren auch bei mässigem Schütteln die Flüssigkeit nicht mehr aus, es befand sich daher am unteren Ende des Gefässes, das sich dort wieder zu einem Rohr verjüngte, ein Glashahn, durch welchen die Flüssigkeit während des Einfüllens unten abgeschlossen wurde, und welcher, nach dem Umkehren des Gefässes geöffnet, einen schnellen Abfluss der Flüssigkeit ermöglichte. Eiweisslösungen, sowie eiweisshaltige Urine zeigen oft eine so reichliche Schaumbildung beim Umgiessen von einem Gefäss ins andere, dass die genaue Volumenbestimmung in einem Messgefässe mit dünnem Halse, in welchem man den Schaum mechanisch nicht entfernen kann, zur Unmöglichkeit wird. Es leuchtet aber ein, dass die Abmessung des Volumens V der eiweisshaltigen Flüssigkeit gar nicht mit äusserster Genauigkeit zu geschehen braucht, und dass, nachdem der Inhalt V des Messgefässes einmal ermittelt ist, man zur Entnahme der erforderlichen Menge der Flüssigkeit sich mit einem gewöhnlichen graduirten Messcylinder begnügen kann. Das genaue Messgefäss ist nur für das schliessliche Auffüllen der wenig schäumenden Natronalbuminatlösung auf das Volumen V erforderlich.

Was die Temperaturcorrection anlangt, so ist die Ausdehnung von NaOH-Lösungen mit der Temperatur noch beträchtlicher, als

---

1) Ebensogut, aber theurer kann man diesen Zweck auch durch die von Cremer construirte Messpipette erreichen. (F. Voit, Zeitschrift für Biologie, XXXI, 2, p. 179.)

jene von NaCl-Lösungen. Ich fand, dass in der Nähe von 20° jedes Prozent NaOH den Ausdehnungscoefficienten einer NaOH-Lösung um 0,000031 erhöht.

Diese Vorbemerkungen dürften zum Verständniss der folgenden Tabelle genügen. Dieselbe enthält die Resultate der Bestimmungen, die ich an aus Hühnereiweiss bereiteten Lösungen zur Bestimmung des Coefficienten $\frac{1}{\beta}$ angestellt habe. Die Bezeichnungen der Columnen schliessen sich eng an die früher gebrauchten an.

Tabelle 4.

No.	s_1	s_2	t_1	t_2	p	Δ	$\frac{1}{\beta}$
1	1,03748	1,04074	20,5	20,5	1,317	326	404,0
2	1,03761	1,04423	20,0	19,5	2,590	647	400,5
3	1,03738	1,04152	20,9	20,9	1,670	414	403,3
4	1,03750	1,03952	20,1	20,2	0,824	205	402,0

Als Mittelwerth für $\frac{1}{\beta}$ ergiebt sich somit 402,45, β also=0,00248. Die einzelnen Zahlen zeigen eine recht gute Uebereinstimmung, eine viel bessere noch, als bei der ersten densimetrischen Methode erzielt wurde; es entspricht dies der Verminderung der Fehlerquellen. — Man hätte vielleicht erwartet, für $\frac{1}{\beta}$ einen mit $\frac{1}{\alpha_1}$ übereinstimmenden Werth zu erhalten. Dass dem nicht so ist, hat seinen Grund darin, dass in den oben betrachteten Lösungen das Eiweiss in Gestalt eines Albuminats enthalten ist. Diese Erscheinung hat ihr Analogon in dem Verhalten, das Säuren und Alkalien darbieten, wenn sie in wässeriger Lösung zusammengebracht werden. Es findet dann, wie auch in dem obigen Falle, eine beträchtliche Volumenvermehrung statt. Aus diesem Grunde kann man z. B. das specifische Gewicht der NaCl-Lösungen nicht aus demjenigen der NaOH- und HCl-Lösungen entsprechenden Procentgehalts berechnen.

Das Verfahren wurde nunmehr auch an einer grösseren Zahl von Urinen einer Prüfung unterzogen und ergab durchaus befriedigende Resultate. Auch hier standen mir Urine der verschiedensten Eiweissgehalte zu Gebote. In der folgenden Tabelle sind die Bestimmungen übersichtlich zusammengestellt. p_w bedeutet

wie früher den durch Wägung, p_d den densimetrisch mit dem Factor 402,45 berechneten Eiweissgehalt.

Tabelle 5.

No.	s_1	s_2	t_1	t_2	Δ	p_w	p_d	$p_w - p_d$
1[1])	1,03840	1,04738	18,0	17,9	894	3,510	3,598	— 0,088
2	1,03695	1,05155	22,5	21,0	1415	5,596	5,695	— 0,099
3[2])	1,03753	1,04155	20,3	21,0	422	1,660	1,698	— 0,038
4[3])	1,03840	1,04318	18,0	17,2	457	1,835	1,839	— 0,004
5[4])	1,03840	1,04201	18,0	16,3	394	1,591	1,586	+ 0,005
6[4])	1,01686	1,01738	20,5	19,8	36	0,148	0,145	+ 0,003
7[5])	1,01453	1,01516	20,1	20,0	61	0,252	0,245	+ 0,007
8[6])	1,01530	1,01670	18,7	16,5	97	0,389	0,386	+ 0,003
9	1,01530	1,01555	18,7	19,6	47	0,194	0,189	+ 0,005
10	1,01530	1,01725	18,7	17,5	170	0,690	0,683	+ 0,007
11	1,01530	1,01915	18,7	20,7	431	1,750	1,735	+ 0,015
12	1,01530	1,01911	18,7	16,6	339	1,360	1,364	— 0,004
13	1,01530	1,01765	18,7	16,25	187	0,760	0,753	+ 0,007
14	1,01530	1,01770	18,7	17,5	210	0,890	0,845	+ 0,045
15	1,01530	1,01710	18,7	15,4	119	0,483	0,479	+ 0,004

In den obigen Beispielen zeigt sich also durchweg eine gute Uebereinstimmung zwischen den Resultaten der Wägung und der densimetrischen Analyse. Nur in den beiden ersten Beispielen betragen die Differenzen etwas mehr, übrigens im Maximum auch nur $2^1/_2$ % der zu bestimmenden Grösse, was wahrscheinlich darin seinen Grund hat, dass die betreffenden Eiweisscoagula nicht völlig ausgewaschen waren. (Die Urine waren ungemein concentrirt; auch der Sinn der Abweichungen entspricht dieser Erklärung.) — Es

1) 32 ccm des Urins einer schweren Nephritis bei Syphilis durch destillirtes Wasser auf 55 ccm gebracht. Der ursprüngliche Urin hatte also den enormen Eiweissgehalt von 6,05 %.

2) Urin derselben Pat. 27,5 ccm auf 75 ccm verdünnt. Der ursprüngliche Urin hatte also 4,54 % Albumen.

3) Urin derselben Pat., im Verhältniss 1 : 2 verdünnt. Eiweissgehalt also 3,67 %.

4) Diese beiden Urine stammen von einem Falle puerperaler Eclampsie, am Tage der Geburt und 2 Tage darauf entnommen.

5) Die folgenden Urine stammen sämmtlich — theilweise durch Verdünnung auf den oben stehenden geringeren Eiweissgehalt gebracht — von der Pat. mit schwerer Nephritis bei Syphilis her.

6) Zu den folgenden Bestimmungen ist immer dieselbe Natronlauge verwendet und daher nur das specifische Gewicht s_2 bestimmt worden.

ist, wie man aus den vorstehender Tabelle beigefügten Bemerkungen ersehen kann, übrigens durchaus nicht nöthig, dass das zur Bestimmung verwendete Harnvolumen gleich V sei; wir können ein beliebiges anderes Volumen V nehmen, nur ist dann der Procentgehalt zu berechnen aus der Formel $p_d = 402,5 \times \Delta \times \frac{V}{V_t}$. Bei eiweissarmen Urinen wird man also zweckmässig ein mehrfaches des Volumens V verwenden, wenn man es nicht vorzieht, auch zu diesen Bestimmungen das fünfstellige Araeometer zu benutzen. — Für eine zweckmässige Wahl von v' ist es aber nöthig, den Eiweissgehalt des zu untersuchenden Urins vorher annähernd zu kennen. Zu diesem Zwecke bediente ich mich mit Vortheil einer quantitativen Modification der Senator'schen Essigsäure-Ferrocyankalium-Probe. 4—5 ccm einer Eiweisslösung vom Eiweissgehalte 0,01 % mit etwa $^1/_5$ ihres Volumens concentrirter Essigsäure versetzt, geben auf Zusatz von 1 Tropfen einer 5 % Ferrocyankaliumlösung eine diffus stark ausgesprochene Opalescenz. Der Grad derselben ändert sich recht deutlich mit dem Eiweissgehalt der Lösung, falls man sich gleich dicker Reagenzgläser bedient und ungefähr gleiche Mengen der Reagentien verwendet. Hat man also eine Vergleichslösung von 0,01 % Albumen zur Verfügung, so braucht man nur eine Probe des zu untersuchenden Urins so zu verdünnen, dass eine Probe dieser Verdünnung im Reagenzglase mit $^1/_5$ Vol. conc. Essigsäure und 1 Tropfen 5 % Ferrocyankaliumlösung versetzt die gleiche Opalescenz giebt wie dieselbe Menge der 0,01 % Normallösung, in gleich dickem Reagenzglase mit derselben Menge der Reagentien behandelt. (Dabei ist natürlich nur annähernde Volumengleichheit nothwendig.) War hierbei eine n-fache Verdünnung des Urins nothwendig, so betrug der Eiweissgehalt desselben $p = n \times 0,01$. Ich habe nun auch zur Prüfung dieser Methode eine Reihe verbleichender Messungen angestellt und gefunden, dass sie in vielen Fällen, wo es nicht auf äusserste Genauigkeit ankommt, recht brauchgar ist. Die 0,01 % Vergleichslösungen stellte ich mir dabei aus vorher bestimmten Urinen durch Verdünnung her. Leider lässt sich eine solche Lösung nicht lange aufbewahren; ohne Säurezusatz tritt sehr bald eine diffuse Trübung ein, fügt man aber sofort die nöthige Menge Essigsäure hinzu, so bleibt die Lösung zwar dauernd klar, aber in Intervallen von mehreren Tagen mit Ferrocyankalium ausgeführte Proben ergeben immer geringere Opalescenz, ein Be-

weis, dass die Säure allmählich eine Zersetzung des Eiweisses bewirkt. Uebrigens erhält man nach mehrmaliger Prüfung mit einer 0,01 % Eiweisslösung eine hinreichende Uebung in der Beurtheilung des Grades der Opalescenz, um für annähernde Zwecke auch ohne Vergleichslösung auszukommen. Will man sich aber stets eine solche herstellen, so kann man sich in sehr einfacher Weise helfen. Natürliches Hühnereiweiss hat einen Eiweissgehalt von 11—13 %. Bringt man dasselbe durch destillirtes Wasser auf das 6fache Volumen und filtrirt, so findet hierbei ein solcher Eiweissverlust auf dem Filter statt, als ob die ursprüngliche Lösung nur eine Concentration von etwa 10 % gehabt hätte. Verdünnt man also das Filtrat eines mit dem 5fachen Volumen destillirten Wassers versetzten Quantums natürlichen Hühnereiweisses auf das 165fache, so hat man eine Eiweisslösung, deren Eiweissgehalt mit einer gewissen Annäherung 0,01 % beträgt.

In folgender kleinen Tabelle sind die Resultate dieser Bestimmungen zusammengestellt. p_w bezieht sich in ihr auf die Wägungsanalyse, p' enthält die Ergebnisse der Ferrocyankalium-Methode.

Tabelle 6.

No.	p_w	p'	p_w-p'	No.	p_w	p'	p_w-p'
1	0,38	0,32	+ 0,06	6	3,32	3,20	+ 0,12
2	0,72	0,81	— 0,09	7	1,02	1,00	+ 0,02
3[1]	0,088	0,110	— 0,022	8	2,89	3,10	— 0,21
4	3,89	3,60	+ 0,29	9	1,81	1,85	— 0,04
5	4,20	4,10	+ 0,10	10	3,02	3,00	+ 0,02

Die vorstehende Tabelle zeigt, dass auch diese Methode brauchbare Resultate ergiebt. Ihrer Natur nach ist sie nur eine annähernde, da sie aber erlaubt, in höchstens 15 Minuten ein sicheres Urtheil über den Eiweissgehalt zu gewinnen, so dürfte sie für die Zwecke der klinischen Praxis recht empfehlenswerth sein.

1) Bei diesem Versuch wurde keine 0,01 % Vergleichslösung benutzt, sondern die Opalescenz einfach nach dem Ergebniss früherer Bestimmungen beurtheilt.

Ueber die Einwirkung intravenöser Kochsalzinfusionen auf die Zusammensetzung von Blut und Lymphe.

(Dritter Beitrag zur Theorie der Lymphbildung.)

Von

Dr. med. **Wilhelm Cohnstein,**
Assistent am physiologischen Institut der kgl. thierärztlichen Hochschule zu Berlin.

Mit 8 Figuren.

Durch die Untersuchungen von Starling[1]) und mir[2]) sind der Heidenhain'schen Lymphsecretionshypothese eine Reihe ihrer wichtigsten Stützen entzogen worden.

Nur eine Thatsache blieb noch übrig, welche vorläufig mit den Consequenzen der Transsudationshypothese, wie überhaupt mit allen physikalischen Theorien unvereinbar erschien.

Injicirt man nämlich in das Gefässsystem eines Hundes eine wässrige Kochsalz- oder Zuckerlösung und vergleicht dann die Concentration, welche das betreffende Mittel im Blut und in der Lymphe des Ductus thoracicus besitzt, so findet man, dass die letztere Flüssigkeit an Salz bezw. Zucker procentisch reicher erscheint, als das gleichzeitig aufgefangene Blut oder Serum.

Diese Thatsache schien ihrem Entdecker, Heidenhain, mit den Gesetzen der Filtration und Diffusion unvereinbar, und er glaubte sie nicht anders deuten zu können, als dass er den Capillarendothelien eine besondere secretorische Thätigkeit imputirte.

Heidenhain steht mit dieser Anschauung keineswegs isolirt da, denn zahlreiche Physiologen haben sich durch seine Ausführungen überzeugen lassen und die meisten neueren Lehrbücher

1) The Journal of Physiology. Bd. XVI. p. 224; XVII. p. 30.

2) Virchow's Archiv. Bd. 135. p. 514; Pflügers Archiv. Bd. 59. p. 350.

erklären gerade auf Grund der in Rede stehenden Thatsache die Lymphe für ein Secret der Capillarendothelien[1]).

Ich habe bereits in einer früheren Arbeit über Versuche berichtet, welche ich unternommen hatte, um die angeregte Frage vom Boden der physikalischen Anschauungsweise aus zu beantworten. Jene Bemühungen hatten zu einem Resultat nicht geführt.

In den folgenden Seiten erlaube ich mir nun, die Erklärung der von Heidenhain gefundenen, scheinbar so räthselhaften Thatsache mitzutheilen.

Zwei Einwürfe sind es, welche ich gegen die von Heidenhain geübte Methode der Berechnung zu erheben habe.

Zunächst halte ich es nicht für gerechtfertigt, Blut- und Lymphproben, welche in dem gleichen Zeitmoment gewonnen worden sind, in Bezug auf ihre Zusammensetzung zu vergleichen. Es leuchtet nämlich bereits a priori ein, dass eine Lymphprobe, welche zu einer Zeit a aus der im Ductus thoracicus steckenden Canüle abläuft, bereits zu einer Zeit $a—x$ in den Geweben gebildet worden ist. Sie ist demnach auch nicht mit dem zur Zeit a, sondern mit dem zur Zeit $a—x$ abgezapften Blute in ihrer Zusammensetzung zu vergleichen. Die Grösse x ist aber nicht ohne Weiteres festzustellen, da sie bedeutenden Schwankungen unterliegt, welche u. A. von der Geschwindigkeit des Lymphstroms abhängig sind.

Dass wirklich eine messbare, ja eine nach Minuten zählende Zeit vergeht, ehe eine in den Geweben gebildete Lymphmenge den Weg bis zum Ductus thoracicus zurückgelegt hat, habe ich auf folgende Weise gezeigt.

Versuch I.

Ich injicirte einem 18 Kilo schweren Hunde um 1 h 29 einige Cubikcentimeter einer 5% Ferrocyannatriumlösung in die rechte Vena femoralis. Dauer der Infusion 30 Sekunden. Erstes Auftreten der Berliner-Blau-Reaction in der Lymphe des Ductus thoracicus um 1 h 34.

Auch die folgenden Versuche zeigen die Richtigkeit meiner

1) S. z. B. J. Munk, Physiologie des Menschen und der Säugethiere. 3. Aufl. 1892. p. 187. J. Steiner, Grundriss der Physiologie des Menschen. 7. Aufl. 1894. p. 180. H. Bunge, Lehrbuch der physiologischen und pathologischen Chemie. 3. Aufl. 1894. p. 229.

Behauptung, denn sie beweisen, dass eine Substanz, welche in das Blutgefässsystem injicirt wird, in der Lymphe erst nach Verlauf einiger Zeit auftritt und hier noch nachweisbar ist, wenn das Blut bereits frei von der injicirten Substanz gefunden wird.

Versuch II.

Einem 10 Kilo schweren Hunde werden 3 h 56 20 ccm einer 1% Ferrocyankaliumlösung in die linke Vena femoralis injicirt. Canülen im Ductus thoracicus und in der rechten Arteria femoralis.

Berliner-Blau-Reaction

	in der Lymphe	im Blutserum
3 h 56,5		deutlich
3 h 57	nein	
3 h 58		deutlich
4 h	kaum angedeutet	
4 h 2 4 h 8 4 h 13	deutlich	noch angedeutet
4 h 14		nicht mehr vorhanden
4 h 18	Maximum der Deutlichkeit	negativ.
4 h 25 4 h 30 4 h 35 4 h 40 4 h 45	noch deutlich	

Versuch III.

Einem 33 Kilo schweren Hunde werden 12 h 35: 60 ccm Flüssigkeit enthaltend 10,398 gr Kochsalz und 3,0 gr Ferrocyannatrium in die rechte Vena femoralis infundirt.

12 h 40 Infusion beendet.

Berliner-Blau-Reaction

	in der Lymphe	im Blutserum
12 h 39		deutlich
12 h 40	schwach angedeutet	
12 h 42 12 h 45 12 h 50		deutlich
12 h 51	deutlich	
12 h 55		deutlich

	Berliner-Blau-Reaction in der Lymphe	im Blutserum
1 h 1	deutlich	
1 h 10		deutlich
1 h 11	deutlich	
1 h 20		noch ganz schwach angedeutet.
1 h 25	deutlich	negativ.
1 h 30	deutlich	negativ.
1 h 35	deutlich	negativ.

Diese Versuche, in welchen es gelang, zu einer Zeit, wo das Blut bereits völlig frei von Ferrocyannatrium war, in der Lymphe das Salz noch mit Deutlichkeit nachzuweisen, sprechen wohl für die Richtigkeit meiner Behauptung, dass es unzulässig ist, eine Lymphprobe mit einer **gleichzeitig** aufgefangenen Blutprobe im Hinblick auf ihre Zusammensetzung zu vergleichen.

Hat man eine Reihe von Concentrationsbestimmungen in Blut und Lymphe gemacht, dann ist es unter Umständen möglich, zwei zusammengehörige Werthe herauszufinden. — Da man nämlich annehmen darf, dass das Blut zu einer Zeit, wo es am reichsten z. B. an Kochsalz ist, auch eine Lymphe produciren wird, welche am relativ reichsten an Kochsalz ist, so ist der Schluss gerechtfertigt, diejenige Lymphprobe, welche am concentrirtesten gefunden worden ist, mit der Blutprobe zu vergleichen, welche ebenfalls am salzreichsten befunden wurde. Mit anderen Worten, die Concentrationsmaxima in beiden Flüssigkeiten sind vergleichbar.

Das Concentrationsmaximum an Kochsalz tritt nun nach intravenöser Injection in der Lymphe weit später auf als im Blut, ein weiterer Beweis dafür, dass die Lymphe eine gewisse Zeit gebraucht, ehe sie von den Geweben zum Ductus thoracicus gelangt. Während das Blut unmittelbar nach beendeter Infusion seine grösste Concentration an Kochsalz besitzt, erreicht die Lymphe dieses Optimum erst einige Zeit später. Trotzdem ist es gerechtfertigt, anzunehmen, dass diese maxime concentrirte Lymphe von jenem maxime concentrirteren Blut gebildet worden ist und man darf daher diese beiden Flüssigkeitsproben als zu einander gehörig, als vergleichbar betrachten.

Stelle ich nun die von Heidenhain nach intravenöser Koch-

salzinfusion in Blut und Lymphe beobachteten Concentrationsmaxima zusammen, so ergibt sich folgende Tabelle:

Versuch Nr.	%Kochsalz in der Lymphe	%Kochsalz im Blut bezw. Serum
VIII.	1,25	0,95
IX.	1,10	0,83
X.	0,75	0,55
XI.	0,90	0,82 (Serum)
XIII.	0,90	0,85 (Serum).

Diese Zahlen scheinen zu beweisen, dass das Concentrationsmaximum in der Lymphe höher liegt, als im Blute.

Ich sage absichtlich „scheinen", denn in Wirklichkeit ist die Salzconcentration in beiden Flüssigkeiten so gut wie gleich.

An dieser Stelle setzt nämlich mein zweiter gegen die Heidenhain'sche Berechnungsmethode gerichteter Einwand ein. In den oben angeführten Heidenhain'schen Zahlen ist nämlich der Umstand ausser Acht gelassen, dass das Blut wesentlich wasserärmer ist als die Lymphe.

Da nun das Kochsalz natürlich nur in dem Wasser des Blutes, des Serums oder der Lymphe gelöst ist (höchstens könnten die farblosen zelligen Elemente einen Theil des Kochsalz binden), so kommt es auch bei der Concentrationsvergleichung darauf an, die betreffenden Salzmengen auf die jeweilige prozentisch im Blut oder in der Lymphe vorhandene Wassermenge zu beziehen. — Mit anderen Worten, es kommt darauf an, die in obiger Tabelle enthaltenen gewichtsprozentischen Werthe in Berücksichtigung der verschiedenen specifischen Gewichte in volumprozentische Werthe umzurechnen.

Ein einfaches Beispiel wird klar machen, worauf es mir ankommt:

Versuch IV.

Je zwei ccm derselben Kochsalzlösung werden versetzt mit

1. 15 ccm destillirtem Wasser (Mischung I).
2. 15 ccm Glaubersalzlösung (Mischung II).

Von Mischung I werden 3,24 gr mit Silbernitrat titrirt. Verbraucht 30,8 ccm Silberlösung entsprechend 0,09393 gr NaCl. Also enthalten 100 gr Mischung: 2,898 gr. NaCl.

Von Mischung II werden 2,98 gr mit Silbernitrat titrirt. Verbraucht 25,7 ccm Silberlösung entsprechend 0,079670 gr NaCl. Also enthalten 100 gr Mischung: **2,674** gr NaCl.

Man sieht also, dass die beiden Mischungen, wenn man Gewichtsprocente in Betracht zieht, verschieden concentriert an Kochsalz sind.

Anders verhält es sich, wenn wir die Volumprocente berücksichtigen.

In Mischung I kommen auf 97,102 gr H_2O : 2,898 gr NaCl, also sind in 100 gr = 100 ccm H_2O enthalten: **2,98** gr NaCl.

In Mischung II, welche in 100 gr Gemenge 88,45 gr H_2O, 8,62 gr Na_2SO_4 und 2,674 gr NaCl enthält, kommen auf 88,45 gr Wasser: 2,674 gr NaCl, also auf 100 gr = 100 ccm Wasser: **3,02** gr NaCl.

Man sieht also, dass die beiden gewichtsprocentisch verschieden concentrirten Flüssigkeiten gleich concentrirt erscheinen, wenn man die verschiedenen specifischen Gewichte bezw. die verschiedenen Mengen der Trockensubstanz berücksichtigt.

Das Analoge gilt von den Flüssigkeiten Blut und Lymphe.

Auch hier darf man nicht verabsäumen, die verschiedenen specifischen Gewichte bei der Concentrationsberechnung zu berücksichtigen.

Rechne ich die von Heidenhain gefundenen, oben mitgetheilten Zahlen in der Weise um, dass ich für den Wassergehalt des Blutes, des Serums und der Lymphe die Durchschnittszahlen 80 %, 93 %, 96 % annehme, so nähern sich die Concentrationswerthe nicht unwesentlich, wie folgende Tabelle beweist:

Versuch Nr.	Volumprocent Kochsalz in der Lymphe.	Volumprocent Kochsalz im Blut bezw. Serum.
VIII.	1,30	1,19
IX.	1,15	1,04
X.	0,78	0,69
XI.	0,93	0,88
XIII.	0,93	0,91

Diese Werthe sind aber natürlich nur approximative und es erschien wünschenswerth, genauere diesbezügliche Bestimmungen zu machen.

Ich stellte daher eine Reihe von Versuchen in folgender Weise an: den Versuchsthieren (mittelgrossen nüchternen Hunden) wurden hyperisotonische wässerige Kochsalzlösungen in eine Schen-

kelvene infundirt. Vor, während und nach der Einspritzung wurden aus dem freigelegten Ductus thoracicus und einer Schenkelarterie Lymph- bezw. Blutproben zur Analyse entnommen. Die Flüssigkeiten wurden gewogen, auf dem Wasserbade eingedampft und bei 105—110° zu constantem Gewicht getrocknet. Der Trockenrückstand wurde verascht, die Asche in Wasser gelöst und die Lösung nach Mohr titrirt.

Versuch V. (s. Curve 1 und 5).

9. 12. 1894. Hündin von 18,3 kg Gewicht. Letzte Mahlzeit vor 40 Stunden.

Morphium-Aether-Narcose.

11 h 55. Operation beendet. Nierengefässe beiderseits abgebunden.

Canülen im Ductus thoracicus, in der Arteria femoralis sinistra und Vena femoralis dextra. (Siehe Tabelle I.)

Versuch VI. (s. Curve 2 und 6).

17. 11. 94. ♂ Hund von 10 kg Gewicht. Letzte Mahlzeit vor 40 Stunden. — Morphium-Aethernarcose. (Siehe Tabelle II.)

Versuch VII. (s. Curve 3 und 7).

21. 11. 94. Hündin von 24950 gr Gewicht. Letzte Mahlzeit vor 40 Stunden. — Morphium-Aethernarcose. (Siehe Tabelle III.)

Versuch VIII. (s. Curve 4 und 8).

1. 12. 94. Hündin von 33 Kilo Gewicht. Letzte Mahlzeit vor 24 Stunden. — Morphium-Aethernarcose. (Siehe Tabelle IV.)

Tabelle I.

Lymphe: Zeit	Lymphe: Menge gr	Lymphe: Trocken-substanz gr	Lymphe: Trocken-substanz %	Lymphe: Wasser %	Lymphe: $AgHO_3$ verbraucht ccm	Lymphe: NaCl gr	NaCl in 100 gr Lymphe	NaCl in 100 ccm Lymphe	Blut: Zeit	Blut: Menge gr	Blut: Trocken-substanz gr	Blut: Trocken-substanz %	Blut: Wasser %	Blut: $AgHO_3$ verbraucht ccm	Blut: NaCl gr	NaCl in 100 gr Blut	NaCl in 100 ccm Blut	Bemerkungen
11h55—12h	2,04	0,102	5,00	95,00	4,4	0,012144	0,59	0,62	12h	3,01	0,617	20,49	79,51	5,0	0,0138	0,46	0,59	12h—12h 2: Infusion von 55 ccm Flüssigkeit mit 16,5 gr NaCl (0,90 gr pro Kilo Thier).
12h —12h5	1,42	0,074	5,21	94,79	3,4	0,009384	0,66	0,69	12h2	5,54	0,900	16,24	83,76	16,7	0,04609	0,83	0,99	
									12h5	3,58	0,588	16,42	83,58	8,7	0,024012	0,67	0,80	
12h 5—10	5,93	0,335	5,64	94,36	15,6	0,0291456	0,49	0,52	12h10	3,37	0,597	17,77	82,23	7,4	0,020424	0,61	0,74	
12h10—20	10,14	0,541	5,33	94,67	28,8	0,079488	0,78	0,82	12h20	5,39	1,008	18,70	81,30	12,0	0,03312	0,61	0,74	
12h20—30	9,26	0,418	4,51	95,49	25,0	0,06900	0,74	0,77	12h30	3,57	0,680	19,04	80,96	8,0	0,02208	0,61	0,74	
12h30—40	8,33	0,352	4,22	95,78	22,5	0,062100	0,74	0,77	12h40	3,53	0,675	19,12	80,88	7,7	0,021252	0,60	0,74	
12h40—50	7,95	0,311	3,91	96,09	21,4	0,059064	0,74	0,77	12h50	4,68	0,906	19,35	80,65	9,8	0,027048	0,58	0,72	
12h50—1	7,47	0,275	3,68	96,32	20,3	0,056028	0,75	0,78										

Tabelle II.

Lymphe									Blut									
Zeit	Menge gr	Trocken-substanz gr	Trocken-substanz %	Wasser %	$AgHO_3$ verbraucht ccm	NaCl gr	NaCl (gewichts-procentisch)	NaCl (volumen-procentisch)	Zeit	Menge gr	Trocken-substanz gr	Trocken-substanz %	Wasser %	$AgHO_3$ verbraucht ccm	NaCl gr	NaCl (gewichts-procentisch)	NaCl (volumen-procentisch)	Bemerkungen
2h16—36	5,97	0,367	6,15	93,85	11,4	0,03579	0,60	0,64										2h51—57: Infusion von 100 ccm Kochsalzlösung mit 11 gr NaCl (1,[illegible] gr pro Kilo Thier).
2h36—51	3,37	0,192	5,69	94,31	6,9	0,02166	0,64	0,67										
									2h50	5,99	1,516	25,31	74,69	7,8	0,02449	0,41	0,55	
2h51—3h1	19,94	0,783	3,93	96,07	55,7	0,17489	0,88	0,91										
									2h56	4,58	0,852	18,60	81,40	10,9	0,034226	0,75	0,92	
3h 1—6	21,81	0,595	2,73	97,27	60,9	0,19122	0,88	0,90										
									3h 5	8,28	1,925	23,25	76,75	15,8	0,049612	0,60	0,78	
3h 6—16	22,45	0,586	2,61	97,39	63,5	0,19939	0,89	0,91										
									3h15	5,94	1,3[illegible]6	23,50	76,50	11,2	0,035168	0,60	0,78	
3h16— 26	12,50	0,360	2,88	97,12	34,3	0,107702	0,86	0,88										
									3h25	5,14	1,237	23,87	76,13	9,2	0,02888	0,56	0,74	
3h26— 36	8,85	0,278	3,14	96,86	24,5	0,07693	0,87	0,89										
									3h35	4,09	1,009	24,67	75,33	7,4	0,02323	0,57	0,75	
3h36— 46	7,24	0,236	3,26	96,74	19,7	0,061858	0,85	0,88										
									3h46	6,20	1,528	24,65	75,85	11,6	0,03642	0,59	0,78	

Tabelle III.

Lymphe: Zeit	Lymphe: Menge gr	Lymphe: Trockensubstanz gr	Lymphe: Trockensubstanz %	Lymphe: Wasser %	Lymphe: $AgHO_3$ verbraucht ccm	Lymphe: NaCl gr	Lymphe: NaCl (gewichtsprocentisch)	Lymphe: NaCl (volumenprocentisch)	Blut: Zeit	Blut: Menge gr	Blut: Trockensubstanz gr	Blut: Trockensubstanz %	Blut: Wasser %	Blut: $AgHO_3$ verbraucht ccm	Blut: NaCl gr	Blut: NaCl (gewichtsprocentisch)	Blut: NaCl (volumenprocentisch)	Bemerkungen
11h 2—12	6,30	0,363	5,76	94,24	13,2	0,040656	0,65	0,69										11h12—17: Infusion von 93 ccm Kochsalzlösung mit 20,93 gr NaCl (0,84 gr pro Kilo Thier).
									11h 5	5,52	1,399	25,34	74,66	8,0	0,02464	0,45	0,60	
									11h14	6,45	1,262	19,57	80,43	10,7	0,032956	0,51	0,63	
									11h17	4,62	0,987	21,36	78,64	9,8	0,030184	0,65	0,83	
11h20—30	24,50	1,309	5,34	94,66	66,0	0,20328	0,83	0,87										
									11h22	6,55	1,493	22,79	77,21	12,7	0,039116	0,59	0,76	
									11h32	5,87	1,390	23,68	76,32	11,0	0,033880	0,58	0,76	
11h32—42	13,94	0,693	4,97	95,03	36,3	0,111804	0,80	0,84										
									11h42	4,59	1,097	23,89	76,11	8,3	0,025564	0,56	0,73	
									11h52	4,96	1,209	24,37	75,63	8,7	0,026796	0,54	0,71	
11h44—54	9,31	0,433	4,65	95,35	24,2	0,074536	0,80	0,84										
									12h 2	5,82	1,435	24,65	75,35	10,0	0,0308	0,53	0,70	
11h55—12h5	10,98	0,500	4,55	95,45	28,5	0,08778	0,79	0,83										
									12h12	5,74	1,425	24,82	75,18	9,9	0,030492	0,53	0,70	
12h 6—16	23,99	1,150	4,79	95,21	62,0	0,19096	0,79	0,83										
									12h22	6,43	1,588	24,69	75,31	11,0	0,03388	0,53	0,70	

Tabelle IV.

Lymphe:									Blut									
Zeit	Menge gr	Trocken-substanz gr	Trocken-substanz %	Wasser %	$AgHO_3$ ver-braucht ccm	NaCl gr	NaCl in 100 gr Lymphe	NaCl in 100 ccm Lymphe	Zeit	Menge gr	Trocken-substanz gr	Trocken-substanz %	Wasser %	$AgHO_3$ ver-braucht ccm	NaCl gr	NaCl in 100 gr Blut	NaCl in 100 ccm Blut	Bemer-kungen
12h20—30	15,33	1,018	6,64	93,36	31,3	0,095465	0,62	0,66	12h30	5,22	1,302	24,94	75,06	8,0	0,0244	0,47	0,62	12h35—40: Infusion von 60 ccm Kochsalzlösung m. 10,398 gr NaCl (0,31 gr pro Kilo Thier).
12h35—40	9,91	0,643	6,49	93,51	20,6	0,07283	0,73	0,78	12h39	6,22	1,366	21,96	78,04	12,2	0,03721	0,60	0,77	
12h40—50	24,32	1,502	6,17	93,83	61,0	0,18605	0,76	0,81	12h45	5,75	1,248	21,70	78,30	10,3	0,031415	0,54	0,70	
12h52—1h2	23,37	1,204	5,15	94,85	55,3	0,168665	0,75	0,79	12h55	4,85	1,105	22,78	77,22	8,7	0,026535	0,54	0,69	
1h 2—12	20,77	1,053	5,07	94,93	48,5	0,147925	0,71	0,74	1h 5	6,44	1,488	23,10	76,90	11,3	0,034465	0,53	0,69	

Aus diesen Versuchen, deren Resultate in den am Schluss der Arbeit angefügten Curven graphisch dargestellt sind, ergibt sich — zunächst in Bezug auf die in Rede stehende Frage —, dass die volumenprocentischen Concentrationsmaxima in Blut und Lymphe nahezu oder ganz zusammenfallen.

Folgende Zahlen machen dies deutlich:

Versuch Nr.	Concentrations-maximum in der Lymphe	Concentrations-maximum im Blute
V.	0,82	0,99
VI.	0,91	0,92
VII.	0,87	0,83
VIII.	0,81	0,77

Aber auch nach mancher anderen Richtung hin sind die obigen Versuche von Interesse.

Was zunächst die nach Kochsalzinfusion zu beobachtende Veränderung der Lymphmenge anlangt, so erscheint es sehr auffallend, dass während und unmittelbar nach der Infusion sich eine deutliche Verlangsamung[1]) des Lymphstroms geltend macht, die allerdings nicht lange anzuhalten pflegt. In Versuch V ist dieselbe aber so stark ausgesprochen, dass die in den ersten 5 Minuten nach der Kochsalzinfusion erhaltene Lymphmenge wesentlich kleiner ausfiel, als die vorher gemessene Controllmenge. — In den anderen Versuchen wird die dem beobachtenden Auge stets deutliche Verlangsamung der Lymphmenge verdeckt durch die übercompensirende, nach kurzer Zeit eintretende beträchtliche Beschleunigung des Lymphstroms. — Die lymphtreibende Wirkung der Kochsalzinfusion ist bereits von Heidenhain entdeckt worden und ich konnte alle die von jenem Autor beobachteten Details bestätigen.

Was die Erklärung der primären Verlangsamung und der secundären Beschleunigung des Lymphstromes anlangt, so halte ich erstere für eine Folge der wasseranziehenden Kraft des injicirten Kochsalz, letztere für eine Konsequenz des gesteigerten intracapil-

1) Heidenhain, Verhdlg. d. X. internat. medic. Congresses Bd. II. Abth. 2. p. 57 leugnet ausdrücklich das Vorkommen einer derartigen Verlangsamung.

lären Blutdrucks. — Ich stehe hierin völlig auf der Seite Starlings, dessen Experimente in Verbindung mit den von mir beschriebenen Versuchen die Richtigkeit dieser Anschauungsweise sicher zu stellen scheinen.

Nicht uninteressant scheinen mir auch die nach der Kochsalzinfusion zu beobachtenden Veränderungen in dem Wassergehalt von Blut und Lymphe. — Das Blut erscheint, unmittelbar nach beendeter Infusion beträchtlich wasserreicher als normal (s. Curve 5—8), in kürzester Zeit aber tritt ein Regulationsmechanismus in Thätigkeit, der die normale Concentration des Blutes wieder herstellt. Die Nieren scheinen hierbei eine ausschlaggebende Rolle nicht zu spielen, da auch bei einem Thier mit ausgeschalteten Nieren (Versuch V) der normale Wassergehalt des Blutes in Kürze sich wieder herstellt. — Zu der Zeit, wo das Blut abnorm wasserreich erscheint, nimmt die Trockensubstanz der Lymphe eher noch zu. Dies zeigt Versuch V und der folgende

Versuch IX.

Hund von 22 kg Gewicht. Letzte Mahlzeit vor 24 Stunden.

Zeit	Lymph-menge	Trocken-substanz gr	Trocken-substanz %	Wasser %	Bemerkungen
11h36—46	7,27	0,459	6,31	93,69	
					11h46—48: Infusion von 34,3 ccm Flüssigkeit mit 7,765 gr NaCl (0,35 gr pro Kilo Thier).
11h46—56	10,97	0,763	6,95	93,05	
11h56—12h6	9,51	0,519	5,44	94,56	
12h 6—12h16	7,19	0,337	4,68	95,32	
12h16—12h36	12,19	0,518	4,76	95,24	
					12h36—38: Infusion von 50 ccm Flüssigkeit mit 10 gr NaCl (0,46 gr pro Kilo Thier).
12h36—46	9,04	0,480	5,31	94,60	
12h46—56	6,53	0,313	4,79	95,21	Etwas Lymphe verloren!
12h56—1h 6	10,28	0,471	4,58	95,42	
1h 6—1h26	13,56	0,591	4,36	95,64	
1h26—36	8,54	0,383	4,48	95,52.	

In den übrigen Versuchen (VI, VII, VIII) tritt die primäre

Zunahme der Trockensubstanz in der Lymphe nicht deutlich in Erscheinung, weil die Lymphproben nicht zeitig genug aufgefangen wurden, so dass die primäre Trockensubstanz zunahme durch eine secundär eintretende Trockensubstanz abnahme compensirt oder übercompensirt wurde. — Entsprechend der Zunahme der Lymphmenge sinkt nämlich alsbald die Menge der Trockensubstanz in der Lymphe mehr und mehr, erreicht nach einiger Zeit ihr Minimum und steigt dann ganz allmählich wieder. — Aus dem Gesagten ergiebt sich — wie es auch die Curven (s. bes. Curve 5) deutlich zeigen —, dass der Wassergehalt der Lymphe sich scheinbar umgekehrt ändert, wie der des Blutes; zu einer Zeit nämlich, wo der Wassergehalt des Blutes noch zunimmt, sinkt der Wassergehalt der Lymphe, dagegen steigt der letztere zu einer Zeit, wo das Blut bereits annähernd oder völlig zu seinem normalen Wassergehalt zurückgekehrt ist. — Die Erklärung für diese Thatsachen liegt wohl in Folgendem:

Durch die Kochsalzinfusion ist der osmotische Druck des Blutes über die Norm gestiegen, in Folge dessen zieht das Blut aus den Lymphspalten Wasser an (Sinken des Wassergehalts der Lymphe, Steigen des Wassergehalts im Blute). Durch den abnormen Flüssigkeitszuwachs steigt nun der intracapilläre Druck (Starling) und entsprechend den Filtrationsgesetzen filtrirt nun eine grössere Menge verhältnissmässig wasserreichen Blutplasmas in die Lymphwege (Steigen des Wassergehalts der Lymphe).

Was endlich die Kochsalzvertheilung in Blut und Lymphe anlangt, so steigt unmittelbar nach der Infusion der Salzgehalt des Blutes rapide an und erreicht sein Maximum zu einer Zeit, wo der Salzgehalt der Lymphe noch kaum verändert ist. Nach einiger Zeit, wenn der Salzgehalt des Blutes schon wieder zu sinken beginnt, steigt die Concentration des Salzes in der Lymphe allmählich an. Das Maximum erreicht, wie schon oben erwähnt, etwa das des Blutes, dann tritt langsam eine Rückkehr zur Norm ein.

Resumire ich den wesentlichen Inhalt der vorliegenden Abhandlung, so glaube ich in derselben den Nachweis geführt zu haben, dass die nach Kochsalzinfusionen zu beobachtenden Veränderungen in der Zusammensetzung von Blut und Lymphe mit den Consequenzen der physicalischen Lymphbildungstheorie, welche die Filtration und Diffusion als leitende Factoren bei der

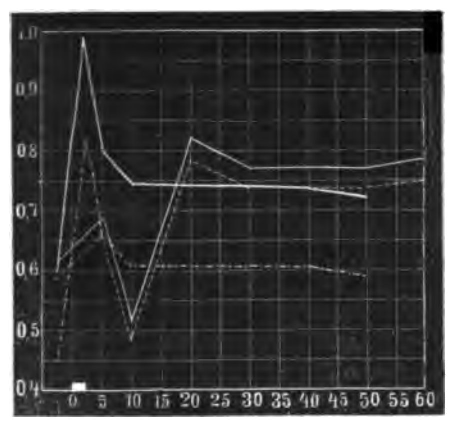
Lymphbildung ansieht, in vollstem Einklang stehen. Die hypothetische Annahme einer secretorischen Thätigkeit der Capillarendothelien erscheint überflüssig.

Es erübrigt nun noch, die nach Kochsalzinfusionen gefundenen Thatsachen auch für Zuckerinfusionen nachzuweisen. — Ich habe vorläufig hiervon Abstand genommen, weil, wie wir aus den Untersuchungen Schenck's wissen, die Zuckerbestimmung in eiweisshaltigen Flüssigkeiten mit schweren Fehlerquellen behaftet ist und weil andererseits, nach Heidenhain's eigener Ansicht, die Verhältnisse beim Zucker mutatis mutandis ebenso liegen, wie beim Kochsalz. Ich zweifle daher nicht, dass auch die nach intravenösen Zuckerinfusionen zu beobachtenden Veränderungen in Blut und Lymphe ebenfalls von dem Boden der physicalischen Lymphbildungstheorie aus erklärt werden können.

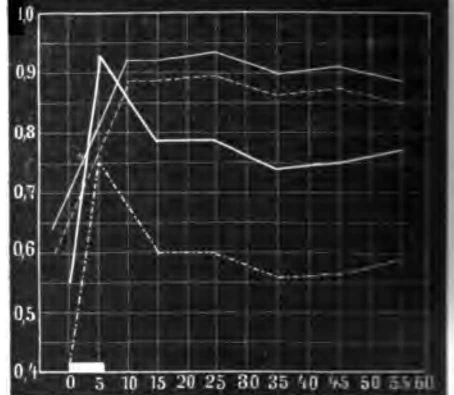
Erklärung der Curven.

In den folgenden Curven bedeuten die Abscissen die Zeit, die Ordinaten in Curve 1—4 den Kochsalzgehalt, in Curve 5—8 den Trockenrückstand. Die stark ausgezogenen Linien beziehen sich auf das Blut, die schwach ausgezogenen auf die Lymphe. In Curve 1—4 bedeuten die gestrichelten Linien die Gewichtsprozente, die ausgezogenen Linien die Volumprozente.

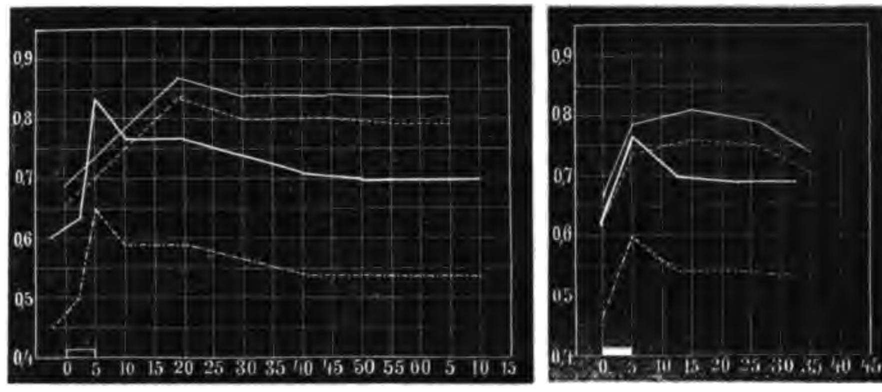
Der stark ausgezogene Abschnitt der Abscissenaxe entspricht der Zeit der Infusion.



Nr. 1.



Nr. 2.

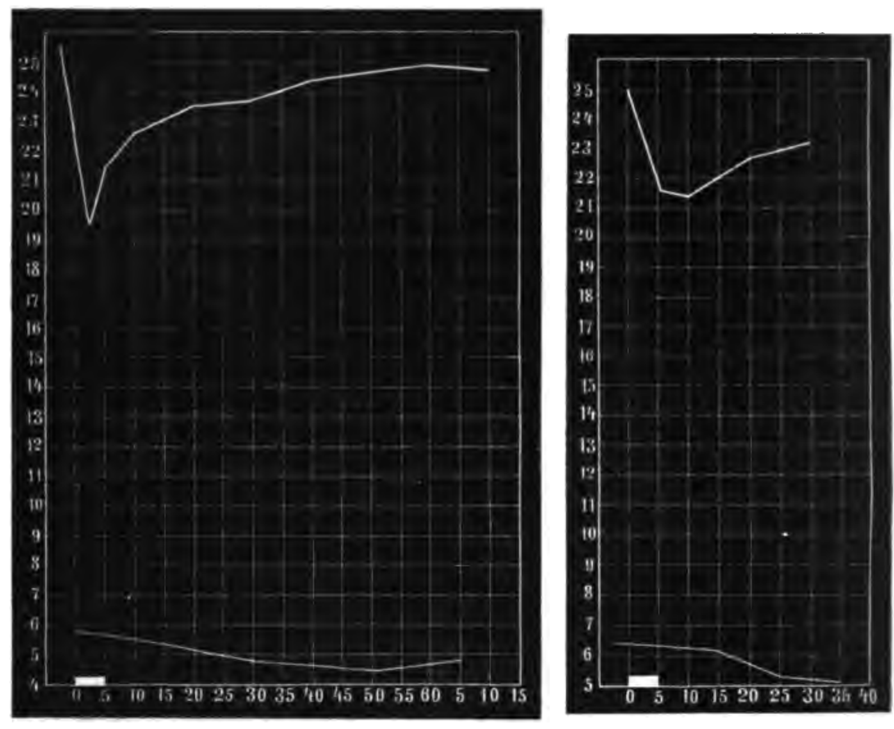


Nr. 3.

Nr. 4.

Nr. 5.

Nr. 6.


25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
4
0 5 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 5 10 15
25
24
23
22
21
20
19
18
17
16
15
14
13
12
11
10
9
8
7
6
5
0 5 10 15 20 25 30 35 40

Nr. 7. Nr. 8.



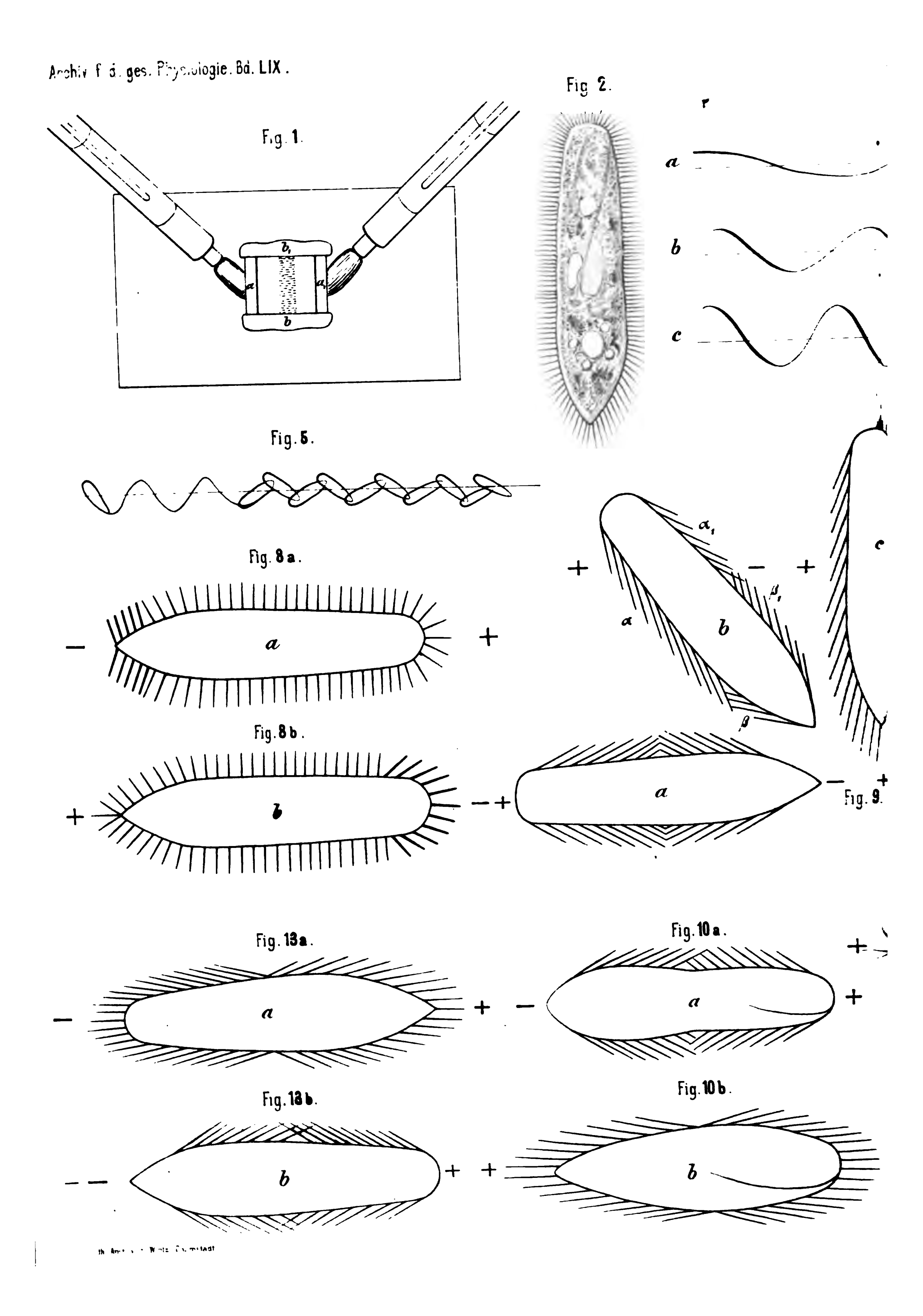

Fig. 1.
b1
a
a1
b
Fig 2.
a
b
c
Fig. 5.
Fig. 8a.
−
a
+
Fig. 8b.
+
b
−+
α1
+
−
+
β1
α
b
c
β
a
−
+
Fig. 9.
Fig. 13a.
−
a
+
Fig. 10a.
−
a
+
+
Fig. 13b.
−
b
+
Fig. 10b.
+
b

Fig. 3.

Fig 4.

a

b

Fig. 6.

a

a_1

− + −

d

e −

a Fig. 7. b

a

b

a

−

b

Fig. 11.

+ −

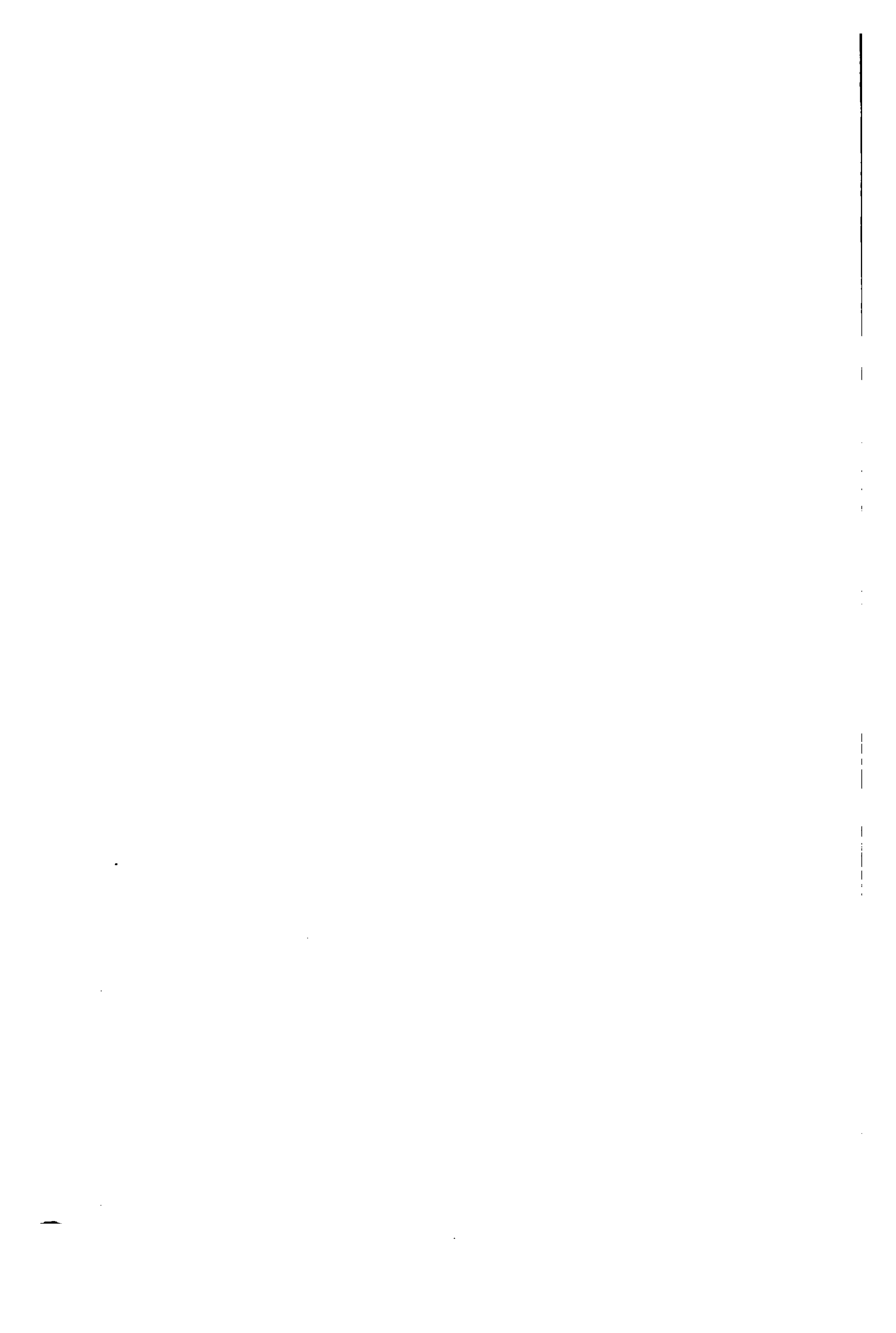
c

+ −

Fig. 12.

+ −

Verlag v. Emil Strauss, Bonn



(Aus dem physiologischen Institut zu Jena.)

Untersuchungen über den Galvanotropismus.

Von

Karl Ludloff.

Hierzu Tafel VII.

Einleitung.

Im Jahre 1889 wurde von Verworn in seiner ersten Mittheilung über „die polare Erregung der Protisten durch den galvanischen Strom" ein eigenthümliches Verhalten der Wimperinfusoriengattung Paramaecium gegenüber dem galvanischen Strom beschrieben, das sich nach der Schilderung Verworn's in folgender Erscheinung äussert[1]: „Bringt man auf den Objektträger zwischen die Leistenelektroden einen Tropfen der von Paramaecien milchig getrübten Flüssigkeit, so sind die Protisten in derselben gleichmässig vertheilt und schwimmen nach allen Richtungen wild durcheinander. Schliesst man jetzt den konstanten Strom, so zeigt sich folgende Erscheinung: Im Moment der Schliessung drehen sich sämmtliche Paramaecien wie auf Kommando mit dem vorderen Körperpol nach der negativen Elektrode, und der ganze Haufen schwimmt mit gleichmässiger Geschwindigkeit auf dieselbe zu. In ganz kurzer Zeit ist die Anodenseite des Tropfens vollständig frei von Paramaecien, nicht ein einziges ist mehr zurückgeblieben, dagegen ist der ganze Haufen jetzt in dichtem Gedränge an der Kathode versammelt. Solange der Strom geschlossen bleibt, verharren die Protisten hier, wird der Strom aber geöffnet, so wenden sich sofort alle Paramaecien wieder mit ihrem vorderen Körperende nach der Anode zu und schwimmen in der Richtung auf dieselbe los. Wieder nach kurzer Zeit ist die Kathode vollständig verlassen und der grösste Theil hat sich an der Anode angesammelt. Die Ansammlung wird jedoch jetzt

1) E. Pflüger, Archiv f. Physiol. Bd. XLV. S. 27.

keine so vollständige wie nach der Schliessung an der Kathode, sondern die Paramaecien beginnen bald wieder nach allen möglichen Richtungen hin durcheinander zu schwimmen, und es dauert nicht lange, so ist die gleichmässige Vertheilung im Tropfen wieder hergestellt. So oft man den Strom wieder schliesst, tritt dieselbe Erscheinung mit derselben Präcision wieder ein." Dass es sich bei dieser Wendung der Paramaecien vom positiven nach dem negativen Pole nicht um eine kataphorische Wirkung des Stromes handelte, konnte Verworn bereits in seiner ersten Arbeit nachweisen durch die Thatsache, dass einerseits narkotisirte oder abgetötete Paramaecien sich bei den angewandten Stromintensitäten überhaupt nicht von der Stelle bewegten und dass andererseits ein passiver Transport viel kleinerer Theilchen bedeutend langsamer und erst bei sehr viel höheren Intensitäten erfolgte. Durch die spätere Entdeckung, dass gewisse andere Infusorienformen sich nach Schliessung des Stromes gerade in entgegengesetzter Richtung bewegten und sich in jeder Beziehung umgekehrt verhielten wie Paramaecium, war übrigens jeder Gedanke an eine kataphorische Wirkung von selbst ausgeschlossen. Offenbar lag hier also eine analoge Wirkung des galvanischen Reizes vor, wie sie der Lichtreiz im Heliotropismus, der chemische Reiz im Chemotropismus etc. zu Stande bringt und wie sie bereits Hermann an Kaulquappen als Wirkung des galvanischen Stromes beobachtet hatte, so dass Verworn das Verhalten der Paramaecien passender Weise als „Galvanotropismus" bezeichnete.

Die Axeneinstellung des Paramaecienkörpers in die Stromesrichtung, welche die nothwendige Vorbedingung des Galvanotropismus ist, führte Verworn bereits in seiner ersten Mittheilung auf die Erregung wenigstens eines Körperpols zurück, wie sie auch im Heliotropismus, Chemotropismus etc. durch den einseitig einwirkenden Reiz erzeugt wird. Allein erst in seiner zweiten Arbeit konnte Verworn durch Anwendung stärkerer Reize aus den Contractionserscheinungen des Körpers nachweisen, welcher Körperpol der erregte war. Es stellte sich dabei heraus, dass bei den nach der Kathode schwimmenden Infusorienformen der anodische Körperpol bei starken Stömen contrahirt und bei übermaximalen sogar zerstört wurde. Damit war zwar die eine bedeutsame Frage entschieden, aber es ergiebt sich nunmehr eine Anzahl weiterer wichtiger Probleme, von denen Verworn bereits im Laufe seiner

weiteren Untersuchungen auf einige hingewiesen hat. Zunächst war es Verworn gerade bei Paramaecium, das den Ausgangspunkt für die Untersuchung gebildet hatte und als Paradigma für den Galvanotropismus gelten kann, wegen der festeren Beschaffenheit des Körperplasmas nicht gelungen, Zerfallserscheinungen am anodischen Körperpol hervorzubringen. Vor allem aber fehlte noch vollständig eine Vorstellung darüber, wie durch die polare Erregung eine galvanotropische Axeneinstellung hervorgebracht werde. Dazu kam, dass auch Verworn schon einige Beobachtungen darüber machte, dass die galvanotropische Bewegung bei Paramaecium und anderen Infusorien je nach der Stromstärke gewisse Modificationen zeigt, für die sich noch keine genügende Erklärung ergab. So machte z. B. Verworn folgende Beobachtung[1]: „Wird der Strom geschlossen, so ist die gewöhnliche Wirkung die, dass die vorher schnell durch das Wasser taumelnden Ciliaten sofort eine geringere Schwimmgeschwindigkeit annehmen und in ziemlich gerader Richtung mit dem Vordertheil voran auf die Kathode losschwimmen. Die Abnahme der Geschwindigkeit beruht darauf, dass durch den galvanischen Strom die Wimperbewegung in der Weise beeinflusst wird, dass die Wimpern in geringerer Amplitude um eine andere Mittellage zu schwingen beginnen, eine Erscheinung, die bei vielen Ciliaten als Folge der galvanischen Reizung auftritt." An anderer Stelle[2]: Nun kommen häufig gewisse Abweichungen von dem obigen Verhalten vor, deren Ursache bis jetzt noch nicht ergründet werden konnte. Bisweilen nämlich geschieht es, dass bei Schliessung des Stromes alle oder die Mehrzahl der Individuen eines Tropfens zwar sofort ihre Axe einstellen, so dass der vordere Körperpol nach der Kathode gerichtet ist, dass sie aber trotzdem langsam rückwärts nach der Anode schwimmen. Dieses Verhalten macht einen ganz typischen Eindruck: „Es sieht aus, als ob die Protisten ihren Körper rückwärts mit vieler Mühe nach der Anode hin zu bewegen strebten und dabei gegen grossen Widerstand anzukämpfen hätten" [3]. „Welches aber die Ursachen für das verschiedene Verhalten des Wimperschlages sind, habe ich nicht ermitteln können. Vielleicht spielt hierbei die Intensität des Stromes

---

1) E. Pflüger, Archiv f. Physiol. Bd. XLVI. S. 278.
2) ibid. S. 278.
3) ibid. S. 279.

eine Rolle, obgleich mir darauf hingerichtete Versuche keine Resultate lieferten; vielleicht sind auch innere Zustände die Ursache dieser Verschiedenheiten."

Unter diesen Umständen lag es nahe, die Untersuchungen über die polare Erregung der Protisten durch den galvanischen Strom besonders an Paramaecium aurelia wieder aufzunehmen und zu beobachten, in welcher Weise die verschiedenen Stromesintensitäten galvanotropisch wirksam sind. Besonders aber schien es interessant, den Mechanismus der Axeneinstellung bei einer so günstigen Infusorienform wie Paramaecium aurelia etwas genauer zu analysiren, da bei der vollkommenen Analogie des Galvanotropismus mit den richtenden Wirkungen anderer Reize später aus diesen Untersuchungen einmal Licht auch auf jene Erscheinungen fallen dürfte.

Methode der Untersuchung. Makroskopische und mikroskopische Beobachtungen.

Um zunächst im Ganzen einen Ueberblick über die Wirkung verschiedener Stromesintensitäten zu erhalten, wurde zuerst makroskopisch das Verhalten der Paramaecien beobachtet, indem mit der Uhr die Zeit festgestellt wurde, die verstrich, ehe die Infusorien von der einen Seite a der von Verworn angegebenen Electroden nach der andern a_1 gelangten. Diese Electroden bestehen im Wesentlichen aus zwei, parallel zu einander auf einem grösseren Objectträger aufgekitteten Leistchen von porösem Thon, a und a_1, deren Enden durch zwei parallele Wälle von nichtleitendem Wachs-Colophoniumkitt b und b_1 mit einander verbunden sind (vergl. Fig. 1). Bei den makroskopischen Versuchen wurde die Zeit gerechnet vom Moment des Schliessens, Wendens oder Oeffnens bis zu dem Zeitpunkte, an dem die Hauptmasse der Infusorien am Ziele angelangt war. Da bei gewissen Stromesintensitäten viele Nachzügler vorkommen, so muss natürlich eine gewisse Willkürlichkeit, in einem bestimmten Moment den Abschluss der Bewegung anzunehmen, mit in Betracht gezogen werden. Daher sind die angegebenen Zahlen Mittelwerthe aus sehr vielen derartigen Versuchen, so dass die Fehlerquelle bis zu gewissen Grenzen vermindert ist.

Da es sich bei den makroskopischen Beobachtungen oft empfiehlt, recht viele Paramaecien auf einem Raum zusammen-

gedrängt zu haben, so wurde zur Erreichung dieses Zweckes folgendes Verfahren angewandt. Mit der Pipette wurden die Paramaecien mit ihrer Nährflüssigkeit den Kulturgefässen entnommen, dann in verschiedene, lange und möglichst enge Reagensgläser überführt und diese bis oben gefüllt. Infolge ihres negativen Geotropismus[1]) sammeln sich in kurzer Zeit fast sämmtliche darin enthaltenen Paramaecien nahe der Oberfläche an und verharren hier auf einem kleinen Raum zusammengedrängt oft tagelang. Entnimmt man aus dieser oberen Schicht dann einen Tropfen mit der Pipette, so hat man oft die 10—20fache Anzahl gegen sonst in einem Tropfen. Dieses Verfahren hat ausserdem noch den Vortheil, dass man dadurch den Transport störender Körper, wie Schlammpartikel, Halmstückchen ins Beobachtungsfeld vermeidet.

Die weiteren Vorbereitungen zu den beabsichtigten Versuchen bestanden in Folgendem: Als Stromquelle dienten zwei kleine, je 30 Paar Zink- und Kohlencylinder enthaltende Chromsäure-Tauchbatterien. Als Electroden wurden die auch von Verworn angewandten unpolarisirbaren Pinselelectroden benutzt, die an die Thonleisten des Objectträgers angelegt wurden. Das Kästchen des Objectträgers selbst war von quadratischer Grundfläche, von 9 mm Seitenlänge (Fig. 1). In den Stromkreis war ein Multiplicator, ein Stöpselrheostat, eine Pohl'sche Wippe und ein Quecksilberschlüssel eingeschaltet. Die Anordnungen waren so getroffen, dass ein Grad des Multiplicatorausschlages bei einem Nebenschluss von 29 S. E. einer Stromstärke von 0,06 M. A. entsprach.

Einfluss der verschiedenen Stromesintensitäten auf die Axeneinstellung und die Schwimmgeschwindigkeit.

Nach diesen Vorbereitungen wurden in das Kästchen ein paar Tropfen der von Paramaecien milchig getrübten Flüssigkeit gebracht. Auf der dunkeln Unterlage war die ganze Fläche gleichmässig bedeckt mit weissen Pünktchen, die sich hurtig durcheinander bewegten.

Jetzt wurde der Strom von 0,06 M. A. geschlossen. Im Allgemeinen war eine gewisse Bewegung nach der Kathode zu sehen,

1) Paul Jensen, Ueber den Geotropismus niederer Organismen, E. Pflüger, Archiv f. Physiologie. Bd. 53. S. 428 u. folg.

viele Individuen schwammen aber auch nach der entgegengesetzten Seite oder in schiefer Richtung zum Strom, nach circa 20 Sekunden war das anodische Drittel der Flüssigkeitsmasse fast vollständig verlassen, während die Infusorien sich in der Mitte und an der Kathode lebhaft durcheinander bewegten. Nach Umlegen der Wippe war nach 20 Secunden dieselbe Ansammlung in umgekehrter Richtung eingetreten. Nach dem Oeffnen war bald wieder die vor der Reizung beobachtete Vertheilung zu erkennen.

0,12 M.A. Es waren schon deutlichere Richtungserscheinungen wahrzunehmen, wenn auch immer noch einige Infusorien in entgegengesetzter Richtung schwammen. Nach 20 Secunden war das kathodische Drittel der Flüssigkeitsmasse besetzt, der übrige Raum frei von Paramaecien. Nach der Wendung war nach 20 Secunden dieselbe Ansammlung in umgekehrter Richtung vollendet. Nach dem Oeffnen sah man sämmtliche Paramaecien nach der entgegengesetzten Seite eilen und nach 20 Secunden war die anfängliche, vor der Reizung beobachtete Raumvertheilung wieder hergestellt.

0,30 M.A. Nach 18 Secunden waren alle Paramaecien an der Kathode, keine im übrigen Raum, nach der Wendung nach 18 Secunden alle an der neuen Kathode angesammelt. Nach dem Oeffnen schwammen alle in entgegengesetzter Richtung, und nach 20 Secunden war wieder die frühere Zerstreuung eingetreten.

0,36 M.A. Nach 14 Secunden waren alle an der Kathode versammelt, der übrige Raum vollständig verlassen, nach der Wendung waren nach 14 Secunden alle an der neuen Kathode. Nach dem Oeffnen schwammen alle in entgegengesetzter Richtung, und nach 20 Sekunden war wieder die frühere Zerstreuung eingetreten.

0,42 M.A. Hierbei waren fast ganz dieselben Verhältnisse vorhanden als bei 0,36 M.-A.

0,60 M.A. Nach der Schliessung und Wendung war die Ansammlung an der Kathode nach 25 Secunden beendet. Nach dem Oeffnen schwammen alle in entgegengesetzter Richtung und nach 20 Secunden war wieder die frühere Zerstreuung eingetreten.

0,90 M.A. Nach Schliessung und Wendung war nach 40 Secunden die Ansammlung an der Kathode beendet. Nach dem Oeffnen schwammen alle in entgegengesetzter Richtung, und nach 20 Secunden war wieder die frühere Zerstreuung eingetreten.

1,20 M.A. Nach Schliessung und Wendung trat nach 60 Se-

cunden die Ansammlung an der Kathode ein. Beim Oeffnen schwammen alle nach der entgegengesetzten Richtung und nach 20 Secunden war die frühere Zerstreuung wieder eingetreten. Jetzt kamen schon viele Nachzügler vor, und es liess sich hier der Moment der Ankunft schon nicht mehr genau feststellen. Während bei 0,36 und 0,42 M.A. die Paramaecien in dichtem Geschwader ankamen und an der Kathode wie eine Schaar Staare im Röhricht einfielen, so dass man ganz genau angeben konnte: in diesem Moment ist die Bewegung abgeschlossen, waren jetzt die Paramaecien über die ganze Fläche zerstreut und kamen allmählich und einzeln an.

1,5 M.A. Es war keine Zeit mehr genau anzugeben, die Infusorien schienen gegen ein Hinderniss zu kämpfen, viele blieben zurück, andere wurden ein ganzes Stück zurückgetragen. Nach dem Oeffnen nach 20 Secunden war wieder die alte Zerstreuung vorhanden.

Ueberblicken wir die Versuchsreihe, so fällt uns auf,

1. dass oberhalb des Schwellenwerthes von 0,06 M.A. in allen Fällen eine Richtung nach der Kathode hin besteht, wenn sie auch bei den schwächsten Strömen weniger deutlich ausgesprochen ist;

2. dass die Fortbewegungsgeschwindigkeit der Paramaecien nicht proportional der Stromstärke wächst. Während sie anfangs allmählich ansteigt, bis sie bei 0,36—0,42 M.A. ihr Maximum erreicht hat, wird sie von hier an sehr bald geringer und zuletzt von 1,2 M.A. an ausserordentlich verlangsamt;

3. dass die Geschwindigkeit nach dem Oeffnen immer die gleiche ist, gleichgültig, ob sie während der Stromdauer verlangsamt oder beschleunigt war.

Diese letzte Thatsache können wir übrigens verwenden zur Bestimmung der ursprünglichen Fortbewegungsgeschwindigkeit der unbeeinflussten Paramaecien, die sonst schwer zu ermitteln ist. Es wurden allerdings Versuche mit dem Ocularmikrometer gemacht, aber einerseits erwies die Grösse der Paramaecien bei der Kleinheit des Gesichtsfeldes sich sehr störend, andererseits liess die oft gebrochene und gekrümmte Schwimmbahn des Infusoriums einen Maassstab nicht anlegen. Zur Ermittelung der normalen Fortbewegungsgeschwindigkeit kommt uns noch folgende Thatsache zu Hülfe. Hat man eben durch die Pohl'sche Wippe

den Strom gewendet und schwimmen die Paramaecien nun eben wieder in der Richtung auf die neue Kathode, und man öffnet jetzt den Strom, so behalten die Paramaecien ihre eingeschlagene Richtung bei und schwimmen ruhig in der Richtung auf die Thonleiste weiter, die soeben noch Kathode war.

Bei einer Stromesintensität von 0,30 M.A. ist bei diesem Verfahren keine Abnahme oder Zunahme der Geschwindigkeit wahrzunehmen, hat man dagegen eben einen Strom von 1,50 M.A. angewandt, so scheinen die Paramaecien vom Moment des Oeffnens an eilig auf ihr Ziel loszuschiessen, während sie sich soeben noch mit vieler Mühe nach der Kathode hin durchkämpften. Da also die Paramaecien nach dem Oeffnen stets in gleicher Geschwindigkeit zunächst noch eine Strecke in gerader Richtung weiter schwimmen, ehe sie sich wieder zerstreuen, so können wir hierbei ihre gewöhnliche Schwimmgeschwindigkeit am besten bestimmen und erhalten so die Geschwindigkeit von 18 Sec. zur Durchmessung einer Strecke von 9 mm als die normale Fortbewegungsgeschwindigkeit. Haben wir nun bei einer Stromesintensität von ca. 0,4 M.A. das Maximum der Geschwindigkeit von 14 Sec. gesehen, so wird es klar, dass die Steigerung der Geschwindigkeit durch den galvanischen Strom nur eine geringe ist. Zum Vergleich wurde ein anderer Reiz angewendet. Erwärmt man die Flüssigkeit, in der die Paramaecien leben, auf 32° Celsius, eine Temperatur, in der dieses Infusorium noch gut existieren kann, so sehen wir unter dem Mikroskop die Paramaecien viel schneller kreuz und quer umherschwimmen.

Wir sehen also einerseits, dass die Schwimmgeschwindigkeit nicht proportional der Stromesintensität wächst und andererseits, dass sie innerhalb der Intensitätsgrenzen, wo sie überhaupt wächst, nur eine ziemlich geringe Steigerung erfährt.

Während der bisherigen Beobachtungen war es mehrmals aufgefallen, dass die Paramaecien an der Kathode versammelt blieben, selbst wenn der Strom oft recht lange geschlossen blieb, eine Erscheinung, die in einem gewissen Gegensatz mit den Erfahrungen über die Wirkung der Stromesdauer auf den Muskel steht. Es wurden daher einige Versuche mit verschieden starken Strömen gemacht. Bei verschiedenen Strömen von 0,18—0,60 M.A. blieben die Paramaecien über eine Stunde an der Kathode versammelt

dann wurde gewendet, worauf sie ebenso prompt reagirten wie sonst. Bei Strömen von über 2,0 M.A. waren nach 10 Minuten einige an der Kathode angesammelt, andere noch mitten auf der Fläche scheinbar auf dem Wege nach der Kathode begriffen. Beim Wenden trat kein sichtbarer Erfolg ein. Unter dem Mikroskop zeigte sich aber, dass jetzt der grösste Theil der Paramaecien vernichtet war, die andern zwar noch lebten, aber körperlich so verändert waren, dass sie sich kaum von der Stelle bewegen konnten. Die Beobachtung schien interessant genug, um sie hier mit anzuführen.

Einfluss der verschiedenen Stromesintensitäten auf die Gestalt der Schwimmbahn.

Das oben schon angedeutete Phänomen des Kämpfens gegen einen Widerstand, des ruckweisen Schwimmens verlangte zur weiteren Untersuchung nothwendig die Benutzung des Mikroskops. Es wurden daher weitere Versuche unter dem Mikroskop, und da es sich um den Gebrauch eines möglich grossen Gesichtsfeldes handelte, zunächst mit schwacher Vergrösserung Objectiv AA + Ocular 2 (Zeiss) angestellt. Auf dem Objecttisch befand sich das Paramaecienkästchen mit demselben Flüssigkeitsquantum und denselben Pinselelectroden.

Bei dieser Vergrösserung betrachtet, erscheinen die Paramaecien als langgestreckte, ungefähr walzenförmige Körper, die ungefähr 4—5 mal so lang als breit sind. Während der mittlere Theil des Körpers ziemlich cylindrisch ist, erscheint der beim Schwimmen vorangekehrte stumpf abgerundet und in einer Richtung etwas flachgedrückt, und dieses verflachte Stück in einem kleinen Winkel um seine Längsaxe gedreht, so dass sich von vorn bis zur Mitte ein Stück Schraubenlinie hinzuziehen scheint, die als Rinne zur Mundbucht führt. Der hintere Körperpol endet in einer stumpfen Spitze. Bei stärkerer Vergrösserung sehen wir noch ausserdem, dass der Körper auf allen Seiten mit Wimpern bedeckt ist und dass das Infusorium durch fortwährenden Wimperschlag wie ein Boot durch seine Ruder fortbewegt wird. In der Mitte dieses einzelligen Organismus befindet sich ein ovaler Kern, an beiden Enden je eine ziemlich grosse pulsirende Vacuole, oder an deren Stelle mehrere kleine, im übrigen ist der ganze Körper mit kleinen Körnchen erfüllt (Fig. 2).

Solche Organismen schwammen zahlreich im Gesichtsfeld umher, rastlos, ohne jemals still zu liegen, kreuz und quer in jeder beliebigen Richtung, immer mit dem breiteren, stumpfen Pol voraus, die Spitze nach hinten gekehrt. Verfolgte man die Schwimmbewegung eines einzelnen näher, so sah man, dass es nicht in einer geradlinigen Bahn schwimmt, sondern dass es sich fortwährend um seine Längsaxe drehend in einer sehr langgestreckten Schraubenlinie durch das Wasser fortbewegt (Fig. 3a), wenn es irgendwo anstösst zurückzuckend oder durch eine Körperbiegung ausweichend.

Jetzt wurde ein Strom von 0,06 M.A. durch das Kästchen geleitet. Eine Wirkung war kaum wahrzunehmen, zwar schwammen verschiedene Paramaecien nach der Kathode hin, aber andere schwammen auch in schiefer und viele andere sogar in entgegengesetzter Richtung zum Strom. Der Strom wurde gewendet, und das Bild veränderte sich nicht wesentlich, ebenso wenig nach dem Oeffnen. Die Geschwindigkeit und die Form der Schwimmbahn schienen ganz dieselbe zu sein wie vor der Schliessung. Bei 0,12 M.A. schwammen entschieden mehr Infusorien nach der Kathode zu, beim Wenden in umgekehrter Richtung wie vorher, beim Oeffnen zurückkehrend. Die Geschwindigkeit und die Form der Schwimmbahn schienen dieselbe zu sein.

Bei 0,30 M.A. stellten sich alle Infusorien mit dem Vorderpol nach der Kathode ein, im geschlossenen Haufen durch das Gesichtsfeld schwimmend. Wurde jetzt der Strom nach der Wendung geöffnet, während sie mitten im Gesichtsfeld waren, so war gar kein Unterschied weder in der Richtung noch in der Geschwindigkeit wahrzunehmen.

Bei 0,36 M.A. stellten sich alle wieder mit dem Vorderpol in der Richtung nach der Kathode ein. Die Körperaxen parallel zu einander, schwammen sie in geschlossenem Haufen daher, beim Wenden wie auf Commando sich umkehrend. Die Schwimmbahn hatte dieselbe Gestalt wie bei den ungereizten Paramaecien, die Geschwindigkeit aber war etwas gesteigert. Letzters war besonders wahrzunehmen, wenn man die Infusorien nach der Wendung bis in die Mitte des Gesichtsfeldes kommen liess und dann öffnete, wobei die eingeschlagene Richtung bestehen blieb, die Geschwindigkeit aber etwas abnahm. Noch deutlicher war übrigens das Phänomen, wenn man einmal die Paramaecien bei gewendetem Strom in geschlossenen Haufen vorbeipassiren liess, das andere Mal den

gewendeten Strom unterbrach, bevor sie in's Gesichtsfeld eingetreten waren. Dann wurde es augenfälliger, dass bei geschlossenem Strom die Geschwindigkeit etwas grösser ist.

Bei 0,42 M.A. zeigten sich dieselben Verhältnisse. Bei 0,60 M.A. fiel vor allem die Veränderung der Schwimmbahn auf. Während bisher die Paramaecien in sehr gestreckter Schraubenlinie sich fortbewegten, waren jetzt die einzelnen Windungen mehr an einander gedrängt. Noch deutlicher war das bei 0,90 M.A. zu sehen, wo die Abweichungen der einzelnen Windungen von der Längsaxe der Schraubenbahn noch bedeutender waren (Fig. 3b und c). Besonders trat das hervor, wenn man nach der Wendung, sobald der Hauptzug mitten im Gesichtsfeld war, öffnete. Während sie eben noch kreuz und quer gerichtet ankamen, flogen sie sofort nach der Oeffnung scheinbar ganz geradlinig ihrem Ziele zu (Fig. 4, die Linie a b bezeichnet den Moment der Oeffnung). Dabei war auch die Körpergestalt etwas verändert, indem die Paramaecien gedrungener und kürzer zu sein schienen.

Bei 1,20 M. A. war die Schwimmbahn und die Körpergestalt des Paramaeciums noch mehr verändert. Die Gestaltveränderung war besonders dadurch bedingt, dass das Hinterende schlanker und das Vorderende verdickt erschien, so dass der Körper mehr einer Keule glich. Die seitlichen Abweichungen von der Längsaxe der Schraubenbahn waren nicht mehr so bedeutend als vorhin. Sie schienen hauptsächlich zu Stande zu kommen durch Drehungen des Infusoriums um seinen Körpermittelpunkt nach rechts und links, nach oben und unten (Fig. 5). Merkwürdig war ferner das fortwährende Zurückzucken der Infusorien nach der Anode zu.

Bei 1,50 M.A. fiel vor allem wieder die grosse Gestaltveränderung auf. Die Infusorien glichen in Bezug auf den äusseren Contour mehr einer Rothweinflasche oder einem Flaschenkürbis. Das Hinterende war stark verjüngt, das Vorderende verbreitert, ja manchmal sogar kugelförmig gestaltet. Diese Körper waren mit dem breiten Vorderpol nach der Kathode gerichtet und bewegten sich langsam auf die Kathode zu, oft schienen sie geradezu still zu stehen und trotz der grössten Anstrengung nicht vorwärts zu kommen, oft schnellten sie in dieser Axeneinstellung ein Stück nach der Anode zurück, um sich dann wieder vorwärts zu bewegen. Zeitweilig kämpften sie sich mit Mühe nach der Kathode hin durch.

Fassen wir diese Beobachtungen zusammen, so kommen zu

den im vorigen Abschnitt geschilderten Erscheinungen noch einige neue hinzu: die Verschiedenheit der Form der Schwimmbahn der Paramaecien je nach der Stromstärke und die Ungleichförmigkeit der Bewegung bei starken Stömen von 1,20—1,50 M.A. sowie die eigenthümliche Veränderung der Körpergestalt.

Gelatinemethode.

Da wir von vornherein annehmen müssen, dass die hervorgehobenen Veränderungen der Geschwindigkeit und Richtung nothwendig ihre Ursache in verschiedenen Veränderungen am Körper des Paramaeciums selbst haben und da wir in Bezug auf die Körperform schon Veränderungen soeben gesehen haben, so wird es nunmehr unsere Aufgabe sein, den Körper selbst einer genaueren Untersuchung zu unterziehen. Wie aus der veränderten Schwimmgeschwindigkeit hervorgeht, wird die Wimperthätigkeit durch den Strom beeinflusst. Wir werden also zuerst den Wimpern unsere Aufmerksamkeit zuwenden.

Am vortheilhaftesten für die Beobachtung der Wimperbewegung stellte sich die durch das Objectiv C und Ocular 4 (Zeiss) gegebene Vergrösserung heraus. Leider aber verschwinden die durch den galvanischen Strom gereizten Infusorien so schnell aus dem Gesichtsfeld, dass wir kaum etwas Genaueres sehen können. Wir würden also schwerlich zu einer sicheren Beobachtung kommen können, wenn wir nicht ein Mittel hätten, die Fortbewegungsgeschwindigkeit der Paramaecien zu vermindern, ohne die regelmässige Wimperthätigkeit zu schädigen, und das Infusorium in diesem Zustande im Gesichtsfelde festzuhalten. Dieses Verfahren besteht darin, die Paramaecien in ein anderes weniger flüssiges Medium zu versetzen, nämlich in eine Gelatinelösung. Eine Methode, die von Jensen angewendet und bereits ausführlicher im biologischen Centralblatt Bd. XII, No. 18 u. 19, S. 556 u. folg. beschrieben worden ist. In unserem Falle wurden einige Tropfen mit recht viel Paramaecien in ein Reagensglas übergeführt, dann ebenso viel Tropfen einer leicht erwärmten 3% Stammgelatinelösung hinzugethan, umgeschüttelt und mit Hülfe einer Pipette ein Tropfen zur Beobachtung unter das Mikroskop gebracht.

War die Gelatine zu steif, dann wurden nach und nach immer mehr Paramaecien in ihrem gewöhnlichen Medium der Lösung im Reagensglase zugesetzt, bis der richtige Grad erreicht war. Die Gelatine muss ungefähr eine 0,8—1 % Lösung darstellen. Darauf zu achten ist ferner, dass die Gelatine mit filtrirtem Paramaecienwasser angemacht wird, nicht mit destillirtem, weil sonst die Paramaecien sehr bald zu Grunde gehen. Es bedarf oft sehr vieler Versuche und häufigen Probierens, ehe man die richtige Consistenz der Lösung gefunden hat. Ist die Masse zu leichtflüssig, so bewegen sich die Infusorien fast eben so schnell wie in ihrem gewohnten Medium; ist sie nur um ein geringes zu steif, so schwimmen sie nicht mehr ruhig einher, sondern wenden sich bald rechts, bald links, zucken zurück und schnellen wieder vor. Ist die Lösung noch etwas steifer, so können sie sich allerdings durch Wimperschlag kaum von der Stelle bewegen, krümmen und winden sich aber in der Gelatine herum, so dass kein Moment der Ruhe eintritt. Dabei verlieren sie ihre normale Gestalt und vom regelmässigen Wimperspiel ist nichts mehr zu sehen. Hat man dagegen endlich den richtigen Consistenzgrad erreicht, so schwimmen sie ruhig und gleichmässig langsam durch das Gesichtsfeld, so dass man ihnen bequem mit den Augen folgen kann, und die Gestalt ist gegen früher unverändert. Dieser Consistenzgrad ist umso schwerer zu treffen, als schon die geringste Veränderung der Zimmertemperatur, ja die längere Beleuchtung mit dem Hohlspiegel des Mikroskops bei hellem Sonnenschein, der Lösung unter dem Deckglas eine andere Consistenz verleiht und so die aufgewandte Mühe zu nichte macht.

Eine andere Schwierigkeit zeigte sich weiter darin, ein Paramaecium in der Gelatinelösung mit dem constanten Strom so zu reizen, dass man von vornherein über die Richtung des Stromes in der Flüssigkeit orientirt war. Es musste also die Gelatinelösung parallel durchströmt werden. Da wir mit stärkeren Vergrösserungen beobachten mussten, so war ein Deckglas nothwendig und der Gebrauch des vorhin angewandten Kästchens mit seiner verhältnissmässig doch beträchtlichen Tiefe und dem störenden Meniscus unmöglich. Schliesslich nach manchem fruchtlosen Versuch mit Fliesspapierleitern etc. stellte sich folgende Methode als sehr zweckmässig heraus. In der Mitte eines Objectträgers wurden zwei Kügelchen von plastischem, angefeuchtetem Thon breitgedrückt

und derart auseinander geknetet, dass die Höhe der so geschaffenen Thonfläche ungefähr $^1/_2$ mm betrug (Fig. 6). Die sich gegenüberstehenden Ränder wurden mit dem Messer scharf abgeschnitten, so dass ein 9 mm breiter Zwischenraum entstand. Dieser Zwischenraum wurde von Thonbröckchen gereinigt und von den beiden Längsseiten soviel von dem Thonbelag weggenommen, dass die Länge der beiden sich gegenüberstehenden, gradlinigen Seiten 15 mm betrug, gerade so viel, als ein gewöhnliches, quadratisches Deckglas Seitenlänge besitzt. Zwischen diese beiden Thonelectroden wurde nun ein Tropfen der ausprobirten Gelatinelösung mit den Paramaecien gebracht, das Deckglas darauf gelegt und etwas festgedrückt. War der Tropfen richtig bemessen, so musste er gerade ausreichen für den Raum unter dem Deckglas und mit den Rändern desselben abschneiden. Auf die beiden Thonflächen wurden dann die Pinselelectroden aufgesetzt. Im Uebrigen waren die Anordnungen dieselben wie die oben beschriebenen.

Dass die Zahlen des Galvanometers hier natürlich eine ganz andere Bedeutung haben wie oben, kann man wohl aus dem ungeheuren Unterschied der Dichte in diesem Leiter im Gegensatz zu der im Kästchen schon schliesen. Ausserdem waren die Thonelectroden, die bei jedem Versuch erneuert werden mussten, jedesmal, wenn man sich auch die grösste Mühe gab, sie gleich zu machen, bei diesen kleinen Verhältnissen gewissen unvermeidlichen Schwankungen ausgesetzt. Aber immerhin kann man bei ein und demselben Elektrodensystem bei sonst unveränderten Verhältnissen doch aus den angegebenen Zahlen die Reihenfolge der einzelnen Erscheinungen bei den verschiedenen Stromstärken ersehen.

Verschiedene Beeinflussung der Wimperthätigkeit und der Körpergestalt an der Kathode und an der Anode.

Wir haben also zwischen die beiden Thonelectroden den Gelatinetropfen gebracht, das Präparat unter dem Mikroscop eingestellt und die beiden Pinsel auf die Thonflächen aufgesetzt. Der Strom ist noch nicht geschlossen. Die Paramaecien schwimmen noch ruhig und gleichmässig im Gesichtsfeld umher. Beim Schwimmen ist das breitere Ende nach vorn gekehrt und wir sehen die Flimmerhaare in einem spitzen Winkel von ungefähr 45° zum Körperumriss nach hinten

gerichtet regelmässig schlagen, ungefähr wie die Ruder eines vielruderigen Bootes (Fig. 7 a). Dabei dreht sich das Infusorium fortwährend um seine Längsaxe und schraubt sich so durch die Flüssigkeit dahin. Stösst das Paramaecium irgendwo an, so kommt es oft vor, dass es plötzlich zurückzuckt. Dann sehen wir eine kurze Zeit den hinteren spitzen Körperpol als Bug dienen und die Wimpern in umgekehrter Stellung als vorhin nach dem breiteren Körperende umgeschlagen (Fig. 7 b). Während sie bei Fig. 7 a am breiten Vorderkörperpol fest anliegend erscheinen, stehen sie dann bei Fig. 7 b darüber hinaus, und liegen umgekehrt dem spitzen, jetzt nach vorn gekehrten Körperpol glatt an.

Wir sehen gewöhnlich unter dem Mikroskop nur die Flimmerhaare, die in der Ebene parallel zum Objectträger stehen; die senkrecht zum Objectträger stehenden sind kaum wahrzunehmen. Wir müssen uns aber von vornherein klar darüber werden, dass das Paramaecium ganz und gar mit einem Kleide von Wimpern umgeben ist, die in spiraligen Reihen von vorn nach hinten angeordnet sind. In diesem spiraligen Bau des ganzen Infusoriums müssen wir auch die Ursache für die schraubenartige Fortbewegung des Paramaeciums suchen.

Oft muss man mit grosser Geduld am Mikroskop sitzen, ehe ein Paramaecium zu finden ist, das endlich ruhig liegen bleibt. Schliesslich ist aber doch Gelegenheit, folgendes Bild im Gesichtsfeld zu sehen (Fig. 2). Wie von einem Strahlenkranz ist der Körper des ruhenden Paramaeciums von Flimmerhaaren umgeben, die sämmtlich etwa senkrecht zur Körperoberfläche gerichtet still stehen. Ein Paramaecium liegt in der Richtung des Stromes, den spitzen Hinterpol nach der Kathode, den breiten Vorderpol nach der Anode gekehrt. Ein Strom von 0,6 M.A. wird geschlossen. An der äussersten Spitze des kathodischen Körperpols fangen die Flimmerhaare an, rhythmisch zu schlagen, alle übrigen bleiben vollständig in Ruhe (Fig. 8 *a*). Wir öffnen den Strom, sofort schlagen die Flimmerhaare zurück in ihre anfängliche Stellung. Wir schliessen nochmals und sehen nun genauer, dass an der Kathode nicht nur eine lebhafte Bewegung auftritt, sondern dass auch die Cilien ihre Stellung verändern, indem sie dem Vorderpol des Körpers etwas zugebogen werden. Wir öffnen, legen die Wippe um und schliessen wieder, sofort schlagen die Wimpern am kathodischen

breiten Vorderpol nach vorn um noch über den Vorderpol hinaus, sonst sind alle Wimpern in Ruhe (Fig. 8 *b*).

Wir stellen ein anderes Paramaecium in's Gesichtsfeld ein, es erfolgt dieselbe Reaction ebenso prompt. Wir suchen noch andere Paramaecien auf und finden wieder dieselbe Erscheinung. Ein Individuum liegt quer zur Stromesrichtung, alle Cilien stehen in der vorhin beschriebenen Ruhelage. Beim Schliessen beginnt auf der kathodischen Längsseite eine lebhafte Bewegung der Cilien, die dabei ihre Stellung verändern, indem sie nach dem Vorderpol hin umgebogen werden. Beim Oeffnen schlagen die Cilien wieder zurück in ihre alte Stellung und bleiben ruhig stehen. Wir wenden den Strom und schliessen wieder. Jetzt zeigt sich dasselbe Schauspiel auf der andern Seite, während die eben gereizte Stelle wieder vollständig in Ruhe liegt. An der Form des Körperumrisses ist nicht die geringste Veränderung zu sehen. Ab und zu kann man eine Spontanbewegung des Infusoriums beobachten. Während es eben noch vollständig ruhig dalag, fängt es auf einmal an heftig mit sämmtlichen Wimpern zu schlagen. Reizen wir es nun in einer solchen Periode mit dem eben benutzten schwachen Strom, so können wir oft keinen Erfolg der Reizung sehen. Demnach muss der Reiz jetzt wohl so schwach sein, dass seine Wirkung durch den inneren Impuls des Infusoriums noch verdeckt werden kann.

Nach diesen Beobachtungen wird der Strom etwas gesteigert. Die Stellung ist dieselbe wie zuerst, d. h. der hintere Pol liegt nach der Kathode hin, und die Flimmerhaare sind vollständig in Ruhe. Beim Schliessen des Stromes von 0,12 M.A. beginnt sofort an der Kathode eine lebhafte Bewegung, die sich etwas weiter nach vorn verbreitet, und die Flimmerhaare werden dabei noch mehr als vorhin bei 0,06 M. A. nach dem vorderen Körperpol umgebogen. Ab und zu kommt es vor, dass eine Welle bis nach vorn läuft, und man sieht ganz deutlich, dass durch das Anschlagen der hintern Wimpern an die Vorderpolwimpern eine kurz dauernde Bewegung eintritt. Bald aber kehrt die Ruhe wieder ein und die Wimpern an der Anode stehen wie vorher ganz still, während an der Kathode lebhafte Bewegung herrscht. Bei der Oeffnung schlagen die eben erregten Wimpern wieder in ihre alte Stellung zurück. Der Strom wird gewendet und wieder geschlossen, so dass der breitere Vorderkörperpol an der Kathode liegt.

Sofort werden die Wimpern an der Kathode in lebhafte Bewegung versetzt und ändern ihre Stellung, indem sie mehr nach dem Vorderpol umschlagen. Beim Oeffnen schlagen sie wieder zurück in ihre alte Stellung. Der Strom durch ein querliegendes Paramaecium geschickt erregt die Wimpern der kathodischen Längsseite, indem die Flimmerhaare nach dem Vorderpol zu umgebogen werden und sich dabei lebhaft bewegen. Auf der anodischen Seite ist vollständige Ruhe. Nach der Oeffnung schlagen die Wimpern in ihre normale Stellung zurück.

Bei 0,18 M. A. zeigt sich das Eintreten der Bewegung bereits zu gleicher Zeit an der Kathode und an der Anode, wenn auch an der Anode die Bewegung geringer ist. Dabei werden die Wimpern an der Anode im entgegengesetzten Sinne umgebogen als an der Kathode. Die Umbiegung an der Kathode ist aber schon stärker als in den vorigen Fällen. Wie die Figur 13 verdeutlicht, haben wir einen grundverschiedenen Effect, ob wir die Kathode am spitzen Hinterpol oder am stumpfen Vorderpol haben. Im Fall 13 b schlagen die Wimpern nach der Mitte zu zusammen, im Fall 13 a werden die Wimpern auseinandergebogen, so dass ungefähr in der Mitte eine Lücke in der Wimperreihe, ein Scheitel entsteht. Am auffälligsten aber wird das mikroscopische Schauspiel, wenn wir den Strom quer durch das Paramaecium schicken und nur die eine Längsseite beobachten. Liegt die Kathode an der beobachteten Längsseite, so schlagen beim Schliessen die Cilien sofort nach dem Vorderpol um, wenden wir jetzt, so schlagen alle unter lebhafter Bewegung in die entgegengesetzte Lage nach dem Hinterpol um. Beim Oeffnen kehren die Cilien wieder in ihre normale Stellung zurück.

Bei 0,36 und 0,42 M.A. ist dieses Wimperphänomen noch ausgesprochener. Während der Körperumriss noch keine Veränderungen erkennen lässt, ist die Geschwindigkeit der Flimmerbewegung schon eine sehr grosse. Der spitze Hinterpol liegt wieder an der Kathode. Beim Schliessen schlagen die Flimmerhaare der Kathodenhälfte nach dem Vorderpol, die der Anodenhälfte nach dem Hinterpol um, so dass ungefähr in der Mitte der Längsseiten ein Wirbel durch das Zusammenschlagen der Haare entsteht (Fig. 9*a*); über den vorderen und hinteren Körperpol hinaus ist nichts mehr von Wimpern wahrzunehmen. Oeffnet man den Strom, so schlagen die Wimpern bald wieder in ihre normale Lage zurück. Wendet

man, und liegt der Vorderpol an der Kathode, so schlagen beim Schliessen die Wimpern nach beiden Körperpolen hin auseinander, so dass in der Mitte der Längsseiten ein Scheitel entsteht, und an beiden Körperpolen rechts und links sehen wir über den Körper hinaus je einen hellen Schopf in sehr heftiger Bewegung (Fig. 9 *e*). Wird ein Paramaecium quer vom Strom getroffen, so tritt folgende Erscheinung auf. Auf der Kathodenlängsseite schlagen die Wimpern noch stärker als in den vorhergehenden Fällen nach dem Vorderpol um, zu gleicher Zeit auf der Anodenlängsseite noch mehr als früher nach dem Hinterpol zu (Fig. 9 *c*). An beiden Körperpolen ragt wieder ein heller Wimperschopf hervor. Wir sehen auch gleich den Erfolg dieser Wimperthätigkeit; denn sofort beginnt das Paramaecium sich mit dem Vorderpol nach der Kathode hin zu drehen. Interessant ist es bei dieser Drehung, das Wandern des vorhin beschriebenen Wirbels und Scheitels zu beobachten (Fig. 9 *b* und *d*). Denkt man sich die beiden Scheitel oder Wirbel durch eine gerade Linie verbunden, so steht diese Verbindungslinie stets senkrecht zur Stromesrichtung, in welcher Lage sich das Paramaecium auch befinden mag. Steigert man jetzt die Stromstärke bis auf 0,54 M.A., so kann man das Wimperspiel kaum noch beobachten, denn die Bewegung ist so schnell geworden, dass man nur noch einen hellen Saum an den Körperrändern des Infusoriums sieht und nur ab und zu einmal einen Wirbel oder Scheitel beobachten kann. Ausserdem tritt jetzt ein anderes Phaenomen auf, nämlich die Veränderung der Körpergestalt. Im Uebrigen wachsen die Schwierigkeiten bei der Beobachtung, die schon bei 0,36 M.A. viel grösser waren als im Anfang, jetzt ganz erheblich. Das Infusorium liegt kaum einen Augenblick ruhig. Beim Schliessen des Stromes dreht es sich sofort trotz der Gelatine mit dem Vorderpol nach der Kathode zu. Man muss förmlich auf der Lauer liegen, die eine Hand bald am Schlüssel, bald an der Wippe, bald am Objectträger, während die andere mit der Schraube zu thun hat. Aber mit einiger Geduld kann man doch folgendes sicher constatiren. Liegt das Paramaecium beim Schliessen mit dem spitzen Hinterpol an der Kathode, so sieht man, dass die Spitze abgerundet wird und etwas aufgetrieben erscheint, während der anodische breitere Vorderpol nicht verändert zu werden scheint (Fig. 10a). Besser ist diese anfangs noch geringfügige Veränderung zu sehen, wenn ein Paramaecium

mit der Mundbucht nach der Seite liegt. Das Paramaecium sucht sich natürlich sofort mit dem Vorderpol nach der Kathode zu drehen. Ist die Drehung zu stande gekommen, so haben wir sofort eine ganz andere Gestalt vor uns (Fig. 10b). Die vorhin beobachtete Anschwellung ist nunmehr weiter nach dem Vorderpol zu localisirt, so dass das Ganze mehr einer Keule gleicht. Manchmal gelingt es, wenn man eben die Anschwellung am spitzen Hinterpol vor sich hat, durch schnelles Wenden des Stromes, ehe sich das Paramaecium drehen kann, zu beobachten, wie die Anschwellung von der Spitze nach dem stumpfen Vorderpol zu hinläuft und kurz vor dem Vorderpol stehen bleibt. Oeffnet man, so verschwindet die Gestaltveränderung nicht sofort wieder, sondern es dauert mindestens einige Secunden, ehe das Paramaecium seine frühere Gestalt wieder angenommen hat. Die Wimperstellung ist folgende. Beim Stromschliessen in der Lage, wo der Hinterpol nach der Kathode gerichtet ist, und wobei das Infusorium Cylinder- oder Semmelform angenommen hat, schlagen die Wimpern in der Mitte zu einem Wirbel zusammen, bei der Lage wo der Hinterpol an der Anode liegt, wobei die Keulenform sich herausgebildet hat, entsteht ein Scheitel auf der Höhe der Anschwellung und zwei Wimperschöpfe am Hinter- und Vorderpol. Bei noch stärkeren Strömen von 0,9—1,20 M.A. beginnt nun auch eine Veränderung am Anodenpol des Infusoriums [1]), während am Kathodenpol die früheren Veränderungen auch fernerhin eintreten. Ein Individuum liegt mit dem Hinterpol nach der Anode gerichtet. Jetzt trifft ein starker Strom von 1,20 M.A. das Paramaecium, sofort verkürzt es sich ruckweise in der Richtung der Längsaxe und am anodischen spitzen Körperpol bildet sich nach und nach ein Zipfel (Fig. 11a), der bis zu einem gewissen Grade dünner und dünner und dabei von der Spitze her heller und stärker lichtbrechend wird. Zugleich wird das grobkörnige Endoplasma nach vorn gepresst und es bildet sich noch eine helle hyaline Zone an der Kathodenseite vor der Trichocytenschicht. Sofort beim Schliessen des Stromes werden an der Anode die Trichocysten herausgepresst. An der Basis des anodischen Zipfels ist der Umfang des Infusoriums am grössten geworden, doch ist

1) Vergl. M. Verworn's Mittheilungen über diesen Punkt auf dem internationalen Physiologen-Congress in Lüttich 1892 und in der physiolog. Gesellschaft zu Berlin, April 1894.

auch am katbodischen Vorderpol ausserdem noch eine Verbreiterung wahrzunehmen. Bei längerer Dauer des Stromes bilden sich an diesen beiden Stellen hyaline Ausbuchtungen, die immer mehr zunehmen und schliesslich blasenförmig an diesen Stellen den Körper umschliessen. Wo die Blasen bestehen, hört die doppelte Contourirung auf und von Flimmerhaaren ist nichts mehr zu sehen (Fig. 11c). Wird der Strom nicht unterbrochen, so zerplatzt schliesslich das Protist, indem das Protoplasma an der Basis des Zipfels herausgepresst wird. Der Zipfel erhält sich noch, während alles Uebrige vernichtet ist (Fig. 12). Manchmal gelingt es auch bei umgekehrter Stellung des Paramaeciums einen kleinen anodialen Zipfel am Vorderpol zu beobachten. Da sich aber das Infusorium sofort schnell umzudrehen beginnt, kann die Zipfelbildung nie die Grösse erreichen wie am spitzen Körperpol. Daneben schwimmen bisweilen auch noch andere Formen im Gesichtsfeld umher, die ein früheres Stadium, in dem noch die Kathodenschliessungserregung überwiegt, darzustellen scheinen, so die Flaschen-Kürbisform (Fig. 11 b). Liegt ein Individuum quer zum Strom, so nimmt es beim Schliessen eine halbmondförmige Gestalt an, indem sich durch Krümmung auf der Anodenseite eine Concavität bildet und hier sofort die Trichocysten ausgepresst werden. Im übrigen sucht es sich sofort mit dem Vorderpol nach der Kathode hinzudrehen.

Der Einfluss also des galvanischen Stromes dei ber Schliessung zeigt sich zuerst an den Wimpern, bei stärkeren Strömen auch an der Körpergestalt. An den Wimpern tritt zuerst eine Bewegung beim ruhenden, respective eine Beschleunigung des Wimperschlages beim schwimmenden Infusorium ein, zugleich eine Veränderung der Wimperstellung. Die Bewegung erscheint bei eben wirksamen Strömen zuerst an der Kathode, bei stärkeren Strömen auch an der Anode. Die veränderte Wimperstellung ist deutlicher zuerst an der Kathode als an der Anode, und zwar werden an der Kathode die Wimpern nach dem vorderen, an der Anode nach dem hinteren Körperpol hin umgebogen. Die Beeinflussung der Geschwindigkeit und der Stellung ist direct unter dem Mikroskop zu be-

obachten. Die veränderte Körpergestalt zeigt sich ebenfalls zuerst an der Kathode, indem hier eine Verbreiterung des betreffenden Körperpols eintritt, bei stärkeren Strömen auch an der Anode, indem sich der anodische Körperpol bis zur Zipfelform verjüngt, wobei das Endoplasma nach vorn gedrängt wird, so dass der übrige Körper auf dieselbe Breite ausgedehnt wird, wie das kathodische Ende. Eine dritte Erscheinung ist auf die Anode ausschliesslich beschränkt, indem hier bei Zipfelbildung die Trichocysten entleert werden. Im Gegensatz zu diesen vielen Vorgängen bei der Schliessung kann man bei der Oeffnung nur beobachten, dass die Wimperthätigkeit fast sofort wieder zur normalen zurückkehrt, die Veränderung der Körpergestalt aber länger bestehen bleibt oder überhaupt nicht wieder verschwindet, bis das Infusorium zu Grunde geht.

Theorie der Axeneinstellung und der polaren Erregung.

Theorie des Wimpereffects. Contractorische und expansorische Schwingung und deren Beeinflussung durch verschiedene Reize.

Es bleibt nunmehr die Frage zu beantworten, wie durch die beobachteten Veränderungen der Wimperthätigkeit der Galvanotropismus zu Stande kommt. Dass er durch die eigenthümliche Beeinflussung der Wimperbewegung zu Stande kommen muss, ist ohne weiteres klar, denn alle Locomotion des Paramaeciums beruht lediglich auf der Thätigkeit der Wimpern. Die Thätigkeit der Wimper besteht in einem Hin- und Herschwingen zwischen zwei extremen Lagen, also in dem Wechsel von zwei Schwingungen, die in entgegengesetzter Richtung erfolgen. Nennen wir die nach hinten erfolgende Schwingung die contractorische, so können wir die umgekehrt nach vorn erfolgende als die expansorische bezeichnen. Diese beiden Schwingungen sind von einander getrennt durch zwei Ruhelagen der Cilie, eine hintere und eine vordere — Ruhelagen, weil in dieser Stellung die Cilie von einer

Schwingung in die andere übergeht und verhältnissmässig länger in diesen Lagen verweilt. Würde nun das Hinschwingen mit derselben Energie. erfolgen wie das Herschwingen, so würden sich beide Schwingungen in ihrem locomotorischen Effect aufheben. Zu einer einseitigen Schlagwirkung kann es nur dann kommen, wenn die eine Schwingung mit grösserer Energie erfolgt als die andere. Der wirksame Schlag und der motorische Effect wird also hervorgebracht durch die energischer erfolgende Schwingung und in ihrem Sinne. So wird, wenn die Contractionsschwingung einen Energiezuwachs von x erhält, der wirksame Schlag im Sinne der Contractionsschwingung, also in unserm Fall nach hinten erfolgen, erhält dagegen die Expansionsschwingung einen Energiezuwachs von x, so wird der wirksame Schlag im Sinne der Expansionsschwingung in unserm Falle nach vorn erfolgen. Im ersten Falle würde der Wimpereffect das Infusor in derselben Axeneinstellung nach vorn, im andern Fall nach hinten treiben. Den Energiezuwachs, der der einen oder der andern Schwingung zuertheilt wird, kann man sich hervorgebracht denken durch zwei verschieden wirksame Reize, von denen der eine nur auf die Contractionsschwingung, der andere nur auf die Expansionsschwingung wirkt.

Nun ist aber folgender Fall möglich. Die Contractionsschwingung hat schon einen Energiezuwachs von x erhalten und verläuft mit einer Energie von x mehr als die Expansionsschwingung, d. h. es findet wie beim schwimmenden Infusorium in unserem Falle der wirksame Schlag nach hinten statt. Jetzt wirkt plötzlich ein Reiz auf die Expansionsschwingung und diese erhält einen Energiezuwachs von $x-n$. Der Erfolg wird sein, dass der wirksame Schlag zwar noch in demselben Sinne, aber entsprechend schwächer erfolgt. Wird aber durch einen stärkeren Reiz der Expansionsschwingung statt eines Energiezuwachses von $x-n$ ein solcher von x zuertheilt, so erfolgen beide Schwingungen wieder mit gleicher Energie und es findet keine einseitige Schlagwirkung statt. Wird dagegen durch einen noch stärkeren Reiz der Expansionsschwingung noch ein zweiter Energiezuwachs von x zu Theil, so dass die Expansionsschwingung mit $2x$ Energie verläuft, so wird diese jetzt das Uebergewicht bekommen über die Contractionsschwingung um eine Energie von x, d. h. der wirksame Schlag wird von der Expansionsschwingung hervorgebracht und verläuft in ihrem Sinne,

die Schwimmbewegung also erfolgt im umgekehrten Sinne als im Anfang.

Wenden wir diese Ueberlegung auf das Paramaecium an, so müssen wir streng auseinanderhalten, ob wir ein ruhendes oder ein schwimmendes Infusorium vor uns haben; denn der galvanische Reiz trifft das ruhende Infusorium, während seine Wimpern in einer mittleren Ruhelage stehen, das schwimmende Infusorium, während die Contractionsschwingung der Wimpern schon energischer als die Expansionsschwingung verläuft, also während die Contractionsschwingung schon einen Energiezuwachs von x erhalten hat.

Nehmen wir zuerst das ruhende in der Stellung mit dem Vorderpol nach der Kathode, wie wir es bei unseren Beobachtungen kennen gelernt haben. Die Wimpern stehen in einer mittleren Ruhelage senkrecht zur Körperoberfläche. Jetzt trifft der Anodenreiz den Hinterpol des Paramaeciums, sofort schlagen die Flimmerhaare am Hinterpol nach dem Hinterende zu und wir sehen sie in der Stellung wie beim schwimmenden Infusorium. Wir wissen nun nach Kraft[1]), dass wir die thätigen Wimpern nur in dem Moment sehen, wenn sie nach Vollendung des wirksamen Schlages sich zum schlafferen Rückschwung in die andere Ruhelage anschicken. Die mittlere Ruhelage haben wir vorhin gesehen, jetzt sehen wir die andere extreme Lage vor uns. Die Wimper hat also einen Schlag ausgeführt in demselben Sinne, wie ihn das Infusorium beim ungestörten Schwimmen auszuführen pflegt. Der Anodenreiz wirkt also in demselben Sinne, wie der Reiz, der das Infusorium zum gewöhnlichen Schwimmen mit dem Vorderpol voraus veranlasst, d. h er beeinflusst die Contractionsschwingung. Beobachten wir nun die Wirkung des Kathodenreizes. Sobald der Kathodenreiz den Vorderpol des Paramaeciums trifft, schlagen die Wimpern nach vorn um. Das heisst mit andern Worten, dass jetzt die Expansionsschwingung einen Energiezuwachs bekommt. Folglich entsteht der wirksame Schlag durch die Expansionsschwingung, also in entgegengesetzter Richtung als beim Anodenreiz. Danach würde, wenn die beiden Reize bis zur Mitte des Infusors wirksam wären und der Kathodenreiz ebenso

1) H. Kraft: „Zur Physiologie des Flimmerepithels bei Wirbelthieren.“ E. Pflüger, Archiv f. Physiologie. Bd. XLVII. S. 208 u. 209.

stark expansorisch wie der Anodenreiz contractorisch wirkte, der motorische Effect der kathodischen und anodischen Wimpergruppe sich aufheben, und das Paramaecium trotz des lebhaftesten Wimperspiels nicht von der Stelle kommen können. Das haben wir in der That bei gewissen Stromstärken in unseren Beobachtungen gesehen.

Gehen wir aber jetzt vom ruhenden zum thätigen Paramaecium über das in der Richtung nach der Kathode schwimmt. Wir sehen die Flimmerhaare in der nach dem Hinterpol umgebogenen Stellung, bei der die Contractionsschwingung schon mit einem Energiezuwachs von x abläuft. Jetzt trifft der Anodenreiz auf den hintern Körperpol. Dadurch muss also die Contractionsschwingung der Hinterpolwimpern noch einen Energiezuwachs von n erhalten, also mit einer Energie von $x+n$ verlaufen und wir müssen die Wimpern an der Anode noch mehr nach dem Hinterende zugebogen sehen. So verhält es sich auch in der That. Am Vorderpol aber trifft der Kathodenreiz das Paramaecium. Wie wir es soeben sahen, erhält hier die Expansionsschwingung einen Energiezuwachs von m. Folglich ist der motorische Effect der Vorderpolwimpern $= x—m$. Ist dabei m kleiner als x, so wird der motorische Effect der Vorderpolwimpern immer noch im Sinne der Contractionsschwingung verlaufen, wird m bei steigender Reizintensität $= x$, so wird der motorische Effect der Vorderpolwimpern $=$ o sein. Wird schliesslich m grösser als x, so wird der motorische Effect der Vorderpolwimpern im Sinne der Expansionsschwingung erfolgen. Es hängt also bloss von dem gegenseitigen Verhältniss des motorischen Effects der Vorderpolwimpern zu dem der Hinterpolwimpern ab, in welchem Sinne bei derselben Axeneinstellung die Bewegung des Körpers erfolgt. Es kommt zu einem Kampf zwischen dem entgegengesetzten motorischen Effect beider Körperpole, der die Paramaecien in derselben Axeneinstellung vor- und rückwärts treibt, je nachdem die anodische contractorische oder die kathodische expansorische Wirkung überwiegt. In der That sind beim galvanotropischen Schwimmen innerhalb der verschiedenen Stromstärken die sämmtlichen damit gegebenen Möglichkeiten, wie unsere Beobachtungen gezeigt haben, realisirt.

Wie geht nun nach diesen Ergebnissen die Axeneinstellung vor sich? Das ist die Cardinalfrage des ganzen Problems. Wie kommt durch das beobachtete Wimperspiel die Drehung mit dem

Vorderpol stets nach der Kathode, wie kommt überhaupt durch Wimperschlag eine Drehung des Paramaecienkörpers zu Stande? Nach einfachen mechanischen Gesetzen liegt es auf der Hand, dass dazu eine Differenz vorhanden sein muss, zwischen dem motorischen Effect der Wimpern der einen Seite und dem der andern, indem entweder der motorische Effect des Wimperschlages auf der einen Körperseite schwächer ist als auf der andern oder indem er auf der einen in entgegengesetzter Richtung wirkt als auf der andern. Die Drehung muss immer nach der Seite erfolgen, auf der in Bezug auf das Vorwärtskommen der geringere motorische Effect vorhanden ist.

Erklärung des Drehungsmechanismus, der Schwimmbahngestalt und der Veränderung der Schwimmgeschwindigkeit aus den gewonnenen Ergebnissen.

Wenden wir uns nun den speciellen Fällen zu und gehen wir aus von der Axeneinstellung bei einer Stromstärke von 0,36—0,42 M.A., bei der der Galvanotropismus am deutlichsten in Erscheinung tritt. Bei einem mit dem Vorderpol nach der Anode schwimmenden Paramaecium reicht der kathodische Reiz dieser Stromstärke noch nicht aus, den Wimpereffect der kathodischen Hinterpolwimpern bis zu einer dem der Vorderpolwimpern entgegengesetzten Schlagwirkung zu steigern. Es ist sogar wahrscheinlich, dass der allerdings abgeschwächte motorische Effect der Hinterpolwimpern noch im Sinne der Vorderpolwimpern wirkt. Das Infusorium wird also noch ein Stück nach der Anode schwimmen. Hierbei kommt es aber infolge seiner Schraubenbahn einen Augenblick in schiefe Stellung zur Stromesrichtung (Fig. 9 b). Sobald das der Fall ist, werden durch die beiden entstehenden Wirbel verschieden lange Strecken von verschiedenem motorischen Effect an beiden Längsseiten abgetheilt (Fig. 9 α α_1, β β_1). Nun wird zwar bei dieser Stromstärke der motorische Effect in allen vier Abschnitten noch in demselben Sinne wirksam sein, nämlich nach vorn. Der motorische Effect von $\alpha+\beta$ muss aber grösser sein als von $\alpha_1+\beta_1$, folglich muss sich das Paramaecium in die Stellung *c* drehen, dann in die Stellung *d*, schliesslich in die Stellung *e*. In dieser Axeneinstellung muss es verharren und nach der Kathode zu schwimmen.

Bei ganz schwachen Strömen haben wir am ruhenden Infu-

sorium gesehen, dass nur die Kathode erregt wird. Also muss beim schwimmenden Infusorium durch den kathodischen Reiz der motorische Effect der kathodischen Wimpergruppe wenn auch nur ganz gering vermindert werden. Folglich muss sich auch in diesem Fall das Infusorium nach der Kathode drehen und auf sie zuschwimmen.

Bei starken Strömen haben wir gefunden, dass schliesslich der motorische Effect der kathodisch gereizten Wimpern im entgegengesetzten Sinne stattfindet; folglich muss sich erst recht das Paramaecium nach der Kathode drehen.

Hiermit wäre also die Frage, weshalb in allen Fällen galvanischer Reizung oberhalb des Schwellenwerthes, die Axeneinstellung nach der Kathode stattfindet, gelöst.

Es bleibt aber noch übrig das Wachsen der Excursionen von der geradlinigen Schwimmbahn mit der Zunahme der Stromstärke und die Verminderung der Bewegungsgeschwindigkeit bei Zunahme der Stromstärke zu erklären.

Wie wir gesehen haben, fällt das Wachsen der Excursionen mit der Abnahme der Schwimmgeschwindigkeit bei stärkeren Strömen zusammen. Dass es aber von vornherein schon einzusehen ist, das infolge der grösseren Umwege, die das Paramaecium durch die Excursionen zu machen gezwungen ist, eine längere Zeit vergehen muss, ehe das Infusorium am Ziel ankommt, so werden wir uns zweckmässig zuerst dem Mechanismus der Excursionen zuwenden. Halten wir uns wieder gegenwärtig, dass das Paramaecium in einer Schraubenbahn schwimmt. Wir haben vorhin schon gesehen, dass die Drehung mit wachsender Stromstärke in immer kürzerer Zeit vollendet sein muss, indem der Bogen, in welchem der Vorderpol sich herumwendet, immer kleiner wird, bis das Paramaecium schliesslich wie eine Compassnadel um seinen Körpermittelpunkt pendelt. Demnach wird es mit immer grösserer Heftigkeit in die neue Richtung hineingeschnellt, so dass es ein Stück über die Längsaxe der Schraubenbahn hinausschiesst, um dann wieder ebenso nach der andern Seite herumgedreht zu werden. So müssen die Schraubenwindungen seiner Bahn nicht nur näher aneinander rücken, sondern auch grösser werden, so lange das Infusorium überhaupt noch von der Stelle kommt. Sobald aber

das Stillstehen und das Vorwärtskämpfen eintritt durch die gesteigerte Thätigkeit der entgegengesetzt wirkenden kathodischen Vorderpolwimpern, muss das Paramaecium wie eine Compassnadel hin und her pendeln. So entsteht der Fall, wo bei ganz starken Strömen die Abweichungen von der Längsaxe nur durch Drehung des Körpers um seinen Mittelpunkt gemacht werden.

Aber auch abgesehen von dem Zeitverlust, der durch die Excursionen entsteht, muss bei sehr starken Strömen die Schwimmgeschwindigkeit noch durch andere Factoren vermindert werden. Das ist leicht einzusehen, wenn man daran denkt, dass die kathodisch gereizten Vorderpolwimpern schon bei schwachen Strömen geringeren motorischen Effect haben müssen, als die anodischen Hinterpolwimpern. Diese Verringerung der Vorderpolwimpern beim galvanotropischen Schwimmen wird bei schwächeren Strömen aber noch compensirt, ja sogar bis zu einer bestimmten Stromesintensität überwogen durch die Steigerung des motorischen Effects der anodischen Hinterpolwimpern. Von einer bestimmten Stromesintensität an aber beginnt der motorische Effect der kathodischen Vorderpolwimpern in den Effect nach der entgegengesetzten Richtung überzugehen, so dass er den motorischen Effect für die Gesammtbewegung des Körpers mehr und mehr schwächen muss. Die Folge davon ist, dass das Infusorium immer langsamer vorwärts kommen muss, bis bei einer sehr hohen Stromstärke der Effect der Hinterpolwimpern durch den entgegengesetzten Effect der Vorderpolwimpern aufgehoben und schliesslich sogar überwogen wird. Dann kommt das Paramaecium nicht mehr von der Stelle und schwimmt sogar mitunter kurze Strecken rückwärts, wobei nur ab und zu spontane Impulse wieder einen Stoss nach vorn erzeugen. So tritt schliesslich ein Vorwärtskämpfen und Zurückschnellen ein, wie wir es gesehen haben. Dieses Kämpfen zwischen Vorwärts- und Rückwärtsgehen bei gleicher Axeneinstellung kann man sich etwa so denken, dass bei der längere Zeit unbeeinflusst gebliebenen Contractionsschwingung auf der einen und Expansionsschwingung auf der andern Seite sich immer wieder soviel Spannkraft aufhäuft, dass sie ab und zu explosionsartig in Erscheinung tritt und ihre Wirkung nach der einen oder andern Richtung geltend macht.

Auf Grund unserer Beobachtungen erklären sich also alle Erscheinungen des Galvanotropismus zwanglos aus der entgegengesetzten Beeinflussung der Wimperthätigkeit an beiden Polen. Allein

man könnte einwenden, dass beim galvanotropischen Schwimmen das Umschlagen der kathodischen Wimpern nach dem Vorderpol auf einer Contraction der kathodischen Wimperseiten beruhe. Diese Deutung würde in der That möglich sein, wenn man nur die eine Axeneinstellung des Paramaeciums ins Auge fasst, wie sie beim galvanotropischen Schwimmen besteht, nämlich die Stellung, wo der Vorderpol nach der Kathode gerichtet ist (Fig. 13a). Beachten wir aber das Verhalten der Wimpern bei umgekehrter Stellung d. h. wo der Vorderpol des Paramaeciums nach der Anode gerichtet ist, so ergiebt sich ohne Weiteres, dass diese Deutung falsch ist. Würden nämlich die Kathodenseiten der Wimpern, wie es der Einwand fordert, contrahirt, so müssten die Wimpern des Hinterpoles, der jetzt nach der Kathode gerichtet ist, auch nach der Kathodenseite umschlagen und dasselbe müsste vice versa für die Anodenseite gelten, mit andern Worten, es müssten auch bei dieser Lage des Körpers die Wimpern des Paramaeciums von der Mitte her nach beiden Polen hin auseinander gebogen werden, so dass in der Mitte ein Scheitel entstände. Das ist aber nicht der Fall, vielmehr biegen sich, wie die Beobachtung zeigt, auch bei dieser Körperstellung die Wimpern nach denselben Körperpolen hin um, wie bei der vorigen Axeneinstellung, so dass nunmehr die Wimpern von beiden Körperpolen her sich zusammenbiegen und in der Mitte einen Wirbel bilden (Fig. 13b). Daraus geht also mit grösster Klarheit hervor, dass die Wirkung des Stromes auf den Wimperschlag an beiden Polen entgegengesetzten Charakter besitzt.

Wir kommen also wieder auf unsere Erklärungsweise und zugleich damit auf die Frage nach der polaren Erregung überhaupt zurück.

Zusammenfassung und Schluss.

Nach allen diesen Ergebnissen wird also die Axeneinstellung einzig und allein durch die Wimperthätigkeit bewirkt. Die Wimperthätigkeit aber wird, wie wir gesehen haben, an beiden Polen, an Kathode und Anode in entgegengesetzter Weise durch den galvanischen Strom beeinflusst. Wir hatten gefunden, dass zuerst eine Veränderung an der Kathode bemerkbar wird, indem hier Beschleunigung der Wimperthätigkeit und Stellungsveränderung der Wimpern eintrat. Beide Erscheinungen nahmen mit der Stromstärke zu.

Unterdessen war aber mit steigender Stromstärke die Veränderung nicht auf die Wimpern beschränkt geblieben, sondern zeigte sich auch an der Körpergestalt, indem sich der Körper am kathodischen Pol ausdehnte. Aber nicht nur am kathodischen Pol zeigten sich Veränderungen, sondern auch am anodischen spielten sich neue Erscheinungen ab. Etwas später, während schon die Beschleunigung des Wimperschlages an der Kathode bestand, fing auch das Wimperspiel an der Anode an, lebhafter zu werden und die Wimpern wurden in der Stellung verändert. Wenn auch anfangs die Lebhaftigkeit der Bewegung und Stellungsveränderung an der Kathode grösser war, erreichte doch bald auch die Beschleunigung und Stellungsveränderung an der Anode die Höhe der kathodischen. Unterdessen begann auch die Körpergestalt an der Anode sich zu verändern durch Zipfelbildung und Auspressung der Trichocysten. Sehen wir nun, dass die Trichocysten an der Anode allein ausgepresst werden, und dass sich an der Anode der Körper zusammenzieht, an der Kathode dagegen ausdehnt, so drängt sich uns der entgegengesetzte Charakter der Erscheinungen an beiden Polen von selbst auf. Wenn wir in dem polar modificirten Wimperspiel ein recht feines Reagens auf die polare Wirkung des galvanischen Stromes sehen können und das Moment der Beschleunigung an beiden Polen berücksichtigen, so müssen wir die Veränderung an beiden Polen als eine „Erregung" bezeichnen. Aber die Erregung hat an beiden Polen, wie schon oben gesagt war, vollständig entgegengesetzten Charakter. Von den beiden entgegengesetzten Vorgängen, welche die Contractionsbewegung zusammensetzen, ist am anodischen Pol die eine, die Contraction am kathodischen Pol die andere, die Expansion durch den galvanischen Strom gesteigert. Mit andern Worten: der galvanische Strom erzeugt an der Anode eine contractorische, an der Kathode eine expansorische Erregung.

Die angestellten Untersuchungen haben demnach einige Aufklärung hauptsächlich über zwei Punkte gegeben. Einerseits sind die Beziehungen klarer geworden zwischen polarer Erregung und Galvanotropismus. Hatte Verworn für unseren Fall schon erwiesen, dass mindestens ein Pol erregt sein müsse, damit das Paramaecium nach der Kathode hingetrieben werde, so sind wir in diesem Punkt etwas weiter gekommen, in dem wir eine Erregung beider Pole, aber im entgegengesetzten Sinne constatiren

konnten. Andererseits ist es nicht uninteressant und ist wohl von allgemeinerer Bedeutung, gerade an einer einzelnen Zelle den entgegengesetzten Charakter der anodischen und kathodischen Erregung so ausserordentlich deutlich beobachten zu können. Dabei tritt gleichzeitig von Neuem wieder die Thatsache hervor, dass sich die polare Erregung durch den galvanischen Strom an beiden Körperpolen des Paramaeciums gerade umgekehrt verhält wie am Muskel. Während der Muskel an der Kathode bei der Schliessung contractorisch erregt wird, zeigt sich bei Paramaecium aurelia eine expansorische Erregung; während sich an der Anode bei der Schliessung am tonisch erregten Muskel Expansionserscheinungen bemerkbar machen, treten bei Paramaecium Contractionserscheinungen auf. Es geht also aus jeder neuen Beobachtung an verschiedenartigen Zellformen immer wieder hervor, dass man die Gesetze der polaren Erregung, wie sie am Muskel und Nerven gefunden worden sind, nicht verallgemeinern und auf alle lebendige Substanz anwenden darf. Es giebt nicht ein Gesetz der polaren Erregung für alle Zellformen, sondern die verschiedensten Zellformen werden auch in sehr verschiedener Weise polar erregt.

Nochmals zur Bestimmung der Residualluft.

(Entgegnung an L. Hermann.)

Von

Dr. **Fr. Schenck.**

Ich muss den Leser um Entschuldigung bitten, dass ich seine Geduld nochmals in Anspruch nehme. Ich bin aber zu einer Entgegnung auf Hermann's Mittheilung[1]) gezwungen, schon allein aus dem Grunde, weil er mir eine bestimmte Frage vorlegt, auf

---

1) Dies Archiv Bd. 59. S. 165.

die ich antworten muss, nämlich die Frage, ob ich das Röhrenvolum abgezogen habe. Ausserdem muss ich noch auf einige Punkte eingehen, die zu Irrthümern Anlass geben könnten.

Ich beschränke mich auf das Allerwesentlichste. Ich beziehe mich auf die Nummern, mit denen Hermann die gegen mich vorgebrachten Punkte bezeichnet.

ad. 1. Meine beiden Ausdrücke sind in dem Sinne, wie ich sie gebraucht habe, gleichbedeutend. Ich habe mich also nicht ungenau citirt. Wenn Hermann die Zulässigkeit der Berechnung des Mittels zur Eliminirung der Beobachtungsfehler leugnet, ist eine weitere Discussion zwecklos.

ad 2. Es ist nicht willkürlich von mir, die nach Gad's Methode erhaltenen Werthe auf eine einzelne Fehlerquelle — die Volumänderung der Darmgase — zu beziehen, denn nur diese verändert den richtigen Werth einseitig. Die anderen Fehler sind durch Berechnung des Mittels eliminirt.

ad 3. Die Temperaturänderung der geathmeten Luft bei ruhiger Athmung im Kasten hat wohl Einfluss auf das Volum der Lungen- und Kastenluft, weil das Verhältniss der Wärmeabgabe des Körpers an die Lungen und Kastenluft zu der der Kastenluft an die Aussenluft bei Inspiration und Exspiration nicht gleich ist. Hermann's Irrthum beruht hauptsächlich darauf, dass er die Vorgänge bei der Inspiration nicht bedacht hat.

Unsere Befunde bei ruhigem Athmen im Kasten: Volumzunahme bei Inspiration, -abnahme bei Exspiration erfordern nach Hermann's Auffassung inspiratorisches Sinken des Abdominaldrucks. In seinem Lehrbuch[1]) giebt er aber an, dass bei Inspiration der Abdominaldruck steigt.

Die von Hermann in seinem Lehrbuch vertretene Ansicht widerspicht freilich den Beobachtungen Verstraeten's[2]), der nur bei starker Füllung des Darms inspiratorische Zunahme des Abdominaldrucks fand, sonst Abnahme. Nach Hermann hätte man gemäss Verstraeten's Befunden nach der künstlichen Aufblähung des Magens inspiratorische Volumabnahme erhalten müssen.

---

1) 10. Aufl. S. 125; ferner S. 153, Zeile 19 von oben.

2) Nach dem Bericht im Centralbl. f. Physiol. Bd. V. S. 81; das Original Ann. et Bull. Soc. d. méd. Gand 1890. Octobre p. 270 war mir nicht zugängig.

Thatsächlich sahen wir aber auch hier inspiratorische Volumzunahme.

Die Volumänderungen in den in Rede stehenden Versuchen sind von solcher Grösse, dass sie recht wohl durch die Temperaturänderungen allein bedingt sein können. Sie sind ferner so typisch, dass die Meinung Hermann's, sie könnten durch grobe Versuchsfehler mit bedingt sein, von der Hand zu weisen ist.

ad 4. Ich betone nochmals, dass ich die Vergrösserung des Fehlers durch die Multiplikation mit einer grossen Zahl nicht unberücksichtigt gelassen habe.

ad 6. Hermann berechnet einen geringeren Fehler für Berenstein's Resultate, als ich berechnet (nicht „geschätzt") habe, weil er die Wasserdampftensionen nicht berücksichtigt —, warum sagt er nicht.

In seinem Lehrbuch[1]) sagt Hermann, dass die Exspirationsluft Körpertemperatur hat, jetzt will er nicht zugeben, dass die Residualluft 37° hat.

Das Röhrenvolum ist in meinen Versuchen nicht abgezogen worden, weil es zu klein war: 30—40 ccm, d. i. 2% Fehler für den Mittelwerth. Die Röhrenleitung bestand grösstentheils aus einem dickwandigen Gummischlauch mit engem Lumen zur Verbindung des Tubus mit dem Manometer.

ad 5, ad 7 und ad 8. Ich habe nicht im Mindesten die sorgfältige Ausführung der Versuche Berenstein's bezweifelt sondern nur das ihr zu Grunde liegende „Princip der Davy-Gréhant'schen Methode" kritisirt, d. i. die Voraussetzung, dass eine mangelhafte Gasmischung in keinem Versuche möglich gewesen ist. Da Berenstein das nicht controlirt hat und auch Hermann diese Voraussetzung nur für wahrscheinlich hält, sind meine Zweifel nicht unberechtigt. Auch habe ich sie in einer Form vorgebracht, die für Hermann nichts verletzendes haben konnte und sollte.

Ich schliesse die Discussion meinerseits, weil ich sie für zwecklos erachte.

---

1) a. a. O. S. 250.

Einige vergleichende Versuche über das Verhalten von Pflanzen und niederen Thieren gegen basische Stoffe.

Von

Th. Bokorny.

Vor einiger Zeit hat Verfasser in diesen Blättern berichtet[1]) über die Resultate einer grösseren ausschliesslich an Pflanzen ausgeführten Versuchsreihe, welche ein übereinstimmendes merkwürdiges Verhalten zahlreicher und sehr verschiedenen Pflanzen angehöriger Zellen gegen basische Stoffe ergab. Die Zellen zeigen bei Anwendung geeigneter (hoher) Verdünnungsgrade dieser Reagentien „Aggregation" des Protoplasmas, d. h. Contraction desselben unter Wasserausstossung ohne Einbusse der Lebensfähigkeit. Die verschiedenen Theile des Cytoplasmas (der Kern wurde nicht berücksichtigt) reagiren in verschiedener Form: Die äussere und innere Hautschicht durch Contraction im ganzen, das Polioplasma, d. i. das zwischen beiden eingeschlossene fast immer Körnchen führende und häufig strömende Plasma, durch Zerfall in zahlreiche runde Eiweissballen, zwischen denen das ausgeschiedene Wasser liegt[2]). Genannte Formen der Reaction können allein oder nebeneinander an ein und derselben Pflanzenzelle auftreten. Das Wort „Aggregation", welches zuerst Ch. Darwin auf die bekannten Vorgänge beim Einbiegen der Drosera tentakel anwandte, wurde vom Verf. auf die analogen Vorgänge in anderen Pflanzenzellen und auf neue Formen der Aggregation übertragen; als Ursache derselben wurden basische Stoffe ganz allgemein festgestellt, während Darwin irrthümlich dem Stickstoffgehalt der angewandten Substanzen eine massgebende Bedeutung zuerkannt hatte (Kali thut es auch). Die

1) Dieses Archiv 1889, pag. 199—219.

2) Mitunter findet sich im Zellsaft Eiweiss vor, welches sich ebenso verhält; bei Spirogyren trifft man es zu gewissen Zeiten (gegen Winter) in grosser Menge dort an.

Aggregation in Droseratentakeln unterscheidet sich von anderen Vorgängen derart wohl nur durch das eine, dass sie leichter eintritt; sie erfolgt sogar durch blosse mechanische Eingriffe (Durchschneiden mit der Scheere) und kann schon durch die leisesten Spuren basischer Stoffe augenblicklich hervorgerufen werden.

Es war nun von Interesse, das Verhalten thierischen Protoplasmas gegen solche Stoffe zu prüfen; thatsächlich ergaben sich dort Erscheinungen, die sich den an Pflanzenzellen beobachteten vergleichen lassen.

Zugleich wurde die Einwirkung einiger anderer, meist giftiger Substanzen auf beiderlei Zellen vergleichend untersucht, soweit diess von Interesse zu sein schien; auch hier ergaben sich merkwürdige Analogieen.

Der Zweck, den nachstehend beschriebene Experimente verfolgten, war ein doppelter: 1) die an Pflanzen bereits festgestellte am lebenden Protoplasma sich abspielende Reaction auf basische Stoffe auch an einigen Thieren auszuprobiren, und 2) die Bedingung und Art des Absterbens einiger thierischer und pflanzlicher Zellen unter chemischen Einflüssen vergleichend zu studiren. In Anbetracht der geringen Zahl seiner Beobachtungen verhehlt sich Verfasser nicht, dass vorliegender Aufsatz nur einen schwachen Versuch in der bezeichneten Richtung bedeutet, der aber immerhin mittheilenswerth sein dürfte.

Versuche mit Caffein: Dieser Stoff löst sich schwer in kaltem Wasser, leicht in warmem, und ist auf die gewünschte Concentration rasch zu bringen, indem man die abgewogene Menge zunächst in etwas warmem Wasser löst, dann die berechnete Menge kalten Wassers zusetzt. Hat man nicht zu viel genommen, so scheidet sich das Caffein nachträglich nicht mehr aus. Aber auch ein zu viel bleibt lange Zeit in Lösung, und sorgt man dafür, dass das Wasser nur schwach gewärmt bleibt, so kann man auch mit starken Concentrationen beliebig operiren.

Lässt man 1 pro mille wässerige Caffeinlösung auf Amoeben einwirken, so stellt sich bald heraus, dass dieselbe gut ertragen wird; die Ortsbewegung und strömende Bewegung im Innern dauert fort, auch bei tagelanger Einwirkung der Lösung; gleichzeitig anwesende sonstige niedere Thiere wie Infusorien, ferner niedere Pflanzen, Schwärmsporen von Algen etc. nehmen ebenfalls keinen merklichen Schaden.

Sehr bald zeigt sich aber an der lebenden Amoebe eine auffallende Veränderung, indem dieselbe sich nun schärfer von dem umgebenden Wasser abhebt, zahlreiche grosse Vacuolen im Innern auftreten, welche durch stark lichtbrechendes Plasma getrennt sind; die Fortsätze werden länger und dünner, die Bewegung ist langsamer und macht den Eindruck, als ob die sich bewegende Masse nicht mehr jenen Grad von Dünnflüssigkeit hätte wie zuvor. All das deutet darauf hin, dass das Plasma in einen dichteren Zustand übergegangen ist, und gerade darin liegt die Uebereinstimmung mit den früher an Pflanzenzellen gemachten Beobachtungen. Die Vacuolen sind offenbar durch Wasserausscheidung aus dem Plasma zu Stande gekommen, das stärkere Lichtbrechungsvermögen ist Folge des grösseren Substanzreichthums im Plasma; der Grund der Dichtigkeitszunahme ist wahrscheinlich in einer Polymerisation des activen Albumins zu suchen (siehe hierüber a. a. O.).

Durch baldigen Ersatz der Caffeinlösung durch reines Wasser kann der frühere Zustand der Amoebe wieder hergestellt werden.

Das Infusorium Paramaecium zeigt ebenfalls interessante Veränderungen beim Einbringen in 1 pro mille Caffeinlösung. Die Wimperbewegung und freie Ortsbewegung dauert unverändert fort, während die beiden contractilen Vacuolen sich vergrössern und allmählich ihre Contractionsfähigkeit verlieren; das Plasma nimmt dabei ein stärkeres Lichtbrechungsvermögen an. Aus der Vacuolenvergrösserung scheint hervorzugehen, dass das lebende Plasma Wasser ausscheidet unter dem Einfluss jenes schwach basischen Stoffes; indem das Plasma hiermit dichter d. h. wasserärmer wird, nimmt es stärkeres Lichtbrechungsvermögen an. In der fortdauernden Einwirkung der 1‰ Caffeinlösung ist zugleich die Ursache für das Aufhören des spontanen Wechsels im Wassergehalt des Infusorienplasmas gegeben; die nun 2 bis 3 mal so grossen Vacuolen schwinden nicht mehr periodisch, sondern bleiben constant bestehen. Im Uebrigen scheint das Infusorium nicht verändert zu werden; es setzt seine Bewegungen tagelang in der Caffeinlösung unbehindert fort. In manchen findet sich schliesslich statt der 2 Vacuolen eine einzige sehr grosse vor; zugleich nimmt der Infusorienleib dabei oft runde Gestalt an; das Plasma bildet eine ziemlich dünne Hülle um die grosse Vacuole, so dass die noch immer lebhaft bewegliche Zelle ein ganz verändertes

Aussehen, fast das einer Pflanzenzelle (peripherischer Plasmasack eine einzige grosse Vacuole umschliessend) gewinnt.

Auf Pflanzenzellen wirkt Caffeinlösung vielfach andersartig ein, wie auf die genannten thierischen Zellen.

So ballt sich bei Zellen aus den Tentakelstielen von Drosera rotundifolia das Eiweiss zu Kugeln, welche entweder zwischen innerer und äusserer Plasmahaut eingeschlossen sind, wenn das Eiweiss dem Polioplasma angehört, oder im Zellsaft liegen, wenn dieses in der Vacuolenflüssigkeit vorkommt. Ausserdem contrahirt sich die innere Plasmahaut (Vacuolenwand), die hier und wohl überhaupt bei Pflanzenzellen sich wie ein besonderes Organ verhält, zu einer oder (unter Theilung) zu mehreren kleinen Blasen.

Die Bildung von Vacuolen im Plasma, wie sie bei genannten thierischen Zellen auftritt, lässt sich aber ganz wohl mit jenen Erscheinungen in Parallele stellen.

Denken wir uns, dass die Eiweissballen der Pflanzenzellen sich nicht vollständig von einander trennen, sondern durch Stränge oder Platten von Eiweiss mit einander in Verbindung bleiben, was auch bisweilen vorkommt, so haben wir einen Uebergang zu der Vacuolenbildung im Plasma der Infusorien- und Amoebenzelle. Das wasserreiche plasmatische Eiweiss sondert sich in Wasser und wasserarmes Eiweiss, welch letzteres im einen Fall völlig oder theilweise zu Kugeln zerfällt, im andern ein schwammiges Gerüst zwischen der ausgeschiedenen Flüssigkeit bildet.

Im Uebrigen gibt es auch Pflanzenzellen, welche in besprochener Hinsicht völlig den thierischen gleichen.

So die Epidermiszellen am Stengel von Hemerocallis fulva.

Hebt man von dem jungen Stengel der Hemerocallis fulva die Epidermis ab und bringt den Schnitt zunächst in Wasser, so bemerkt man innerhalb der Membran jeder Epidermiszelle einen dicken Wandbelag von Protoplasma mit Kern; von jenem gehen mächtige Stränge ab, durchsetzen den Luftraum und verbinden den Wandbelag gegenüberliegender Seiten der Zelle.

Durch wässerige Caffeinlösung von 1 : 1000 geht ziemlich rasch eine merkwürdige Veränderung im Protoplasma dieser Zellen vor; es wird schaumig, indem zahlreiche Vacuolen darin auftreten; das Plasmagerüst, das nun zwischen den Vacuolen sich vorfindet, hat stärkeres Lichtbrechungsvermögen.

Bisweilen tritt auch hier eine Trennung der Plasmasubstanz in zahlreiche kleine Kügelchen auf.

Da unter dem Einfluss der 1‰ Caffeinlösung ein baldiges Absterben vieler Zellen sich zeigt, ist es vielleicht gut, die Lösung noch weiter zu verdünnen, was um so eher angeht, als die Wirkung des Caffeins sicher in vielen Fällen (bei anderen Objecten vom Verfasser beobachtet) noch bei weit grösserer Verdünnung eintritt. Caffeinlösung von 1 : 100000 bewirkt oft noch deutliche und rasche Aggregation.

Versuche mit Ammoniak: Wässerige Ammoniaklösung von 1 : 100 tödtet Amoeben fast augenblicklich; sie stellen sofort ihre Bewegungen ein und verquellen zu einer durchsichtigen vom Wasser sich wenig abhebenden Masse; indem schliesslich die äussere Hautschicht zerstört wird, gelangen die dem Amoebenplasma eingebetteten stark lichtbrechenden Körnchen in Freiheit. Ammoniak von 1:500 wirkt ebenfalls tödtlich.

Verdünnt man letztere Ammonlösung auf das 5-fache, so wirkt sie nicht mehr tödtlich; die kriechende Bewegung der Amoeben wie auch die Strömung im Innern dauert fort. Nach mehreren Stunden nimmt dann das Plasma eine schaumige Beschaffenheit an, indem zahlreiche Vacuolen, grosse und kleine, im Innern auftreten. Auch hier scheint also durch den basischen Stoff eine Wasserausscheidung aus dem Plasma zu erfolgen, ohne dass dadurch die Lebensfähigkeit verloren ginge; solche schaumig gewordene Amoeben kriechen noch lebhaft umher.

Paramaccium stellt bei Einwirkung einer 1 : 500 Ammoniaklösung sogleich seine Bewegungen ein und erleidet auch sichtbare Veränderungen im Plasma, welche den Tod bekunden. Ammoniak von 1:1000 wirkt ähnlich. Auch wenn die Verdünnung 1:5000 angewandt wird, tritt bald eine Verlangsamung der Bewegung und schliesslich Stillstand ein; zugleich treten Formveränderungen auf, das Infusorium wird rundlich und zeigt, im optischen Durchschnitt gesehen, einen breiten, völlig hyalinen Saum, aus dem mehrere breite gerundete Auswüchse hervortreten; bisweilen lösen sie sich ab und nehmen völlige Kugelgestalt an. Schliesslich öffnet sich der Infusorienleib an einer Stelle und nun quillt der körnige Inhalt daraus hervor.

Sogar durch wässerige Ammoniaklösung von 1 : 10000 treten die eben genannten Wirkungen noch theilweise ein. Viele Indivi-

duen aber leben fort, bewegen sich munter und zeigen dabei Vacuolenvergrösserung und Auftreten neuer Vacuolen im Innern, ferner eine etwas grössere Starrheit des Infusorienleibes, Erscheinungen, welche wiederum auf Wasserausscheidung aus dem lebenden Plasma schliessen lässt. Nach $^{1}/_{2}$ stündiger Einwirkung dieser hochverdünnten Ammoniaklösung kann man oft bis zu 20 grossen Vacuolen im Innern der noch lebhaft beweglichen Infusorien wahrnehmen.

Da offenbar grosse individuelle Verschiedenheiten hinsichtlich der Resistenz gegen chemische Einflüsse vorhanden sind, so ist natürlich geboten, die nöthige Concentration der Reagentien in jedem Falle besonders auszuprobiren.

Kohlensaures Ammoniak: wirkt ähnlich wie Ammoniak, aber schwächer; die Verdünnung 1:3000 dürfte hier genügen, um ähnliche Erscheinungen zu erzielen, wie mit Ammoniak von 1:10000.

Wirkung von Kalilösungen:

Paramaccium wird durch dieselben sehr verschieden je nach individueller Resistenz der Individuen beeinflusst. Bei den einen wirkt schon 1‰ Lösung tödtlich (das ganze Infusorium verquillt zu einer fast unsichtbaren Masse); bei den andern erst erheblich stärkere. Geeignete Concentrationen zur Hervorrufung ähnlicher Erscheinungen, wie sie 0,1 procentige Caffeinlösung bewirkt, wurden hier bis jetzt nicht gefunden.

An Pflanzenzellen wurden, wie schon früher berichtet, Aggregationserscheinung sowohl mit Kali als mit Ammoniak von 0,1% häufig beobachtet. Das Pflanzenprotoplasma scheint nicht so empfindlich gegen diese Basen zu sein, wiewohl auch hier in vielen Fällen eine weitergehende Verdünnung der Lösung rathsam sein dürfte.

Als Resultat obiger Versuche ergibt sich, dass auch manches thierische Plasma durch Basen in dichteren Zustand (unter Wasserausstossung) übergeführt werden kann, ohne die lebende Beschaffenheit einzubüssen.

Vielleicht wird diese kurze Mittheilung Anlass zu weiteren Untersuchungen.

Die Sensibilität der Conjunctiva und Cornea des menschlichen Auges.

Von

Dr. rer. nat. et med. **Willbald A. Nagel,**
Assistent am physiologischen Institut in Tübingen.

I. Die Empfindlichkeit für mechanische Reize.

Seiner vor Kurzem veröffentlichten Abhandlung über „die Gefühle und ihr Verhältniss zu den Empfindungen" [1], in welcher hauptsächlich das Verhältniss des „Schmerzsinnes" zu den übrigen Sinnen behandelt ist, hat M. v. Frey eine weitere [2]) folgen lassen, in welcher er, in Verfolgung des gleichen Gegenstandes, eine sinnreiche Methode angiebt [3]), die Empfindlichkeit der verschiedenen Körpertheile gegen schwache, dabei eng lokalisirte, mechanische Druckreize zu bestimmen und zahlenmässig auszudrücken. v. Frey verwendet zu diesem Zwecke Haare von verschiedener Stärke, welche an einem Holzstäbchen befestigt sind, und dieses um etwa 20 bis 30 mm überragen. Die Kraft, welche nöthig ist, um ein solches Haar durch Druck auf sein freies Ende zu krümmen, lässt sich durch eine feine Waage feststellen, und somit unter Berücksichtigung des Querschnittes des Haares der Druck berechnen, welcher beim Aufsetzen eines solchen Haares auf die Haut auf diese ausgeübt wird. Jedes Haar von bestimmter Dicke nnd Steifheit repräsentirt mithin eine bestimmte berechenbare Druckgrösse.

Einen besonderen Abschnitt widmet v. Frey der Untersuchung der zugänglichen Theile des Auges, Conjunctiva und Cornea, und auf diese nur beziehen sich die folgenden Mittheilungen.

Sowohl auf der Cornea wie auf der Conjunctiva findet v. Frey die Sensibilität punktförmig vertheilt. Einzelne Stellen sind ganz

1) M. v. Frey, Die Gefühle und ihr Verhältniss zu den Empfindungen. Antrittsvorlesung, Leipzig (Besold) 1894.

2) M. v. Frey, Beiträge zur Physiologie des Schmerzsinnes. Ber. d. math. phys. Klasse d. Königl. Sächs. Gesellschaft d. Wissenschaften. Leipzig. Juli 1894.

3) Die Methode ist übrigens nicht ganz neu. Hensen erwähnt sie in seinem „Vortrag gegen den sechsten Sinn" Kiel 1893. Hensen verwendete zur Applikation minimaler Druckreize Glaswoll- und Coconfäden.

unempfindlich für Berührung, andere empfinden zwar schwache Berührungen nicht, wohl aber stärkere, wieder andere sind Stellen von hervorragender Empfindlichkeit. Die an den reizbaren Stellen auslösbaren Empfindungen sind „durchaus einheitliche, ausschliesslich schmerzhafte". Von den im Trigeminus enthaltenen „dreierlei Faserarten", welche der Druck-, Temperatur- und Schmerzempfindung dienen, treten demnach nur „Schmerznerven" in die Cornea und Conjunctiva. Zur Temperaturempfindung und einfachen Berührungs- oder Druckempfindung sind diese Theile nach v. Frey nicht befähigt.

Da diese letzteren Resultate in meinen Augen den Stempel höchster Unwahrscheinlichkeit tragen, unternahm ich eine Nachprüfung derselben. Auf Grund zahlreicher, mannigfach variirter Versuche bestreite ich, dass die Empfindungsnerven der Conjunctiva und Cornea nur zur Vermittelung schmerzhafter Empfindungen befähigt sind. Vielmehr können erstens Berührungen sowohl auf der Conjunctiva, wie auf der Cornea ohne jeden schmerzhaften oder auch nur belästigenden Gefühlston wahrgenommen werden, und zweitens lässt sich ebenfalls an beiden Orten eine ganz prägnante Kälteempfindung hervorrufen.

v. Frey hat sich offenbar dadurch, dass er eine hübsche, für manche Zwecke recht brauchbare Methode der Untersuchung des Tastsinnes gefunden hatte, verleiten lassen, nun in einseitiger Weise nur diese eine Methode anzuwenden, und die so nahe liegende Vergleichung mit anderen Versuchsmethoden zu unterlassen. Uebrigens kann ich, auch wenn ich genau in der von v. Frey angegebenen Weise experimentire, seine Resultate in wesentlichen Punkten nicht bestätigen, wie sich aus dem Folgenden ergeben wird. Auf ein principielles Bedenken gegen die Berechtigung der v. Frey'schen Untersuchungsmethode komme ich weiter unten zu sprechen.

Richtig ist, dass man schon mit sehr feinen Haaren, wenn man sie genau senkrecht mit dem Ende auf die Conjunctiva aufsetzt, störende, beunruhigende Empfindungen auslösen kann, welche an manchen Stellen der Conjunctiva, und überall auf der Cornea, geradezu schmerzhaft sind. Dazwischen liegen auf der Conjunctiva Stellen, die über einen Quadratmillimeter gross sein können, an welchen die Berührung mit feinen weichen Haaren nicht wahr-

genommen wird, während die steiferen dickeren Haare noch reizen, aber schwächer als anderwärts.

Auch scheint es Stellen zu geben, wo eine nicht allzugrobe Berührung gar nicht wahrgenommen wird, wo also das Empfindungsvermögen gänzlich fehlt. Auf meiner Cornea habe ich solche nicht finden können, will aber ihr Vorhandensein nicht bestreiten, da ich diese Versuche an der Cornea wegen der bald eintretenden Reizungserscheinungen möglichst eingeschränkt habe [1]).

Nicht bestätigen kann ich, wie gesagt, die Angabe von v. Frey, dass Empfindungen schmerzhaften Charakters die einzigen auf der Conjunctiva und Cornea auslösbaren seien. Zunächst sei die Conjunctiva besprochen. Ich bemerke, dass, wenn ich von „Conjunctiva“ ohne weiteren Zusatz spreche, immer die Conjunctiva bulbi gemeint ist.

Ich kann auf meiner Conjunctiva sowohl mittelst stumpfer Gegenstände, als auch mittelst der Reizhaare einfache Berührungsempfindungen auslösen, die von jedem schmerzhaften oder irgendwie belästigenden Beiklange frei sind. Um Missverständnisse zu vermeiden, betone ich ausdrücklich, dass es sich hierbei nicht etwa um Unterdrückung eines Schmerzgefühles handelt, sondern um wirkliche Abwesenheit von Schmerz. Unterdrückt muss allerdings auch etwas werden, nämlich der reflektorische Lidschlag, eine Reflexhemmung, die den verschiedenen Menschen sehr verschiedene Schwierigkeit macht. Die Uebung ist hierin von ausserordentlichem Einflusse, wie ich an mir selbst erfahren habe. Ich komme jetzt, nach einiger Uebung, bei einer vorsichtigen Berührung meiner Conjunctiva kaum in die Lage, willkürlich und bewusst den Reflex unterdrücken zu müssen; er bleibt fast von selbst aus. Für die

---

1) Auch ist diese Untersuchung am eigenen Auge schwer auszuführen, da das feine Haar vor der spiegelnden Cornea kaum sichtbar ist, und auch die Anwendung eines Winkelspiegels die Schwierigkeit nicht völlig hebt.

Bei der Untersuchung anderer Personen mit normaler Cornea fand ich häufig Stellen, an denen die Berührung mit einem feinen Haar nicht wahrgenommen wird. Zugleich bemerkte ich, dass diese Stellen (deren Berührung auch keinen Reflex auslöst) bei verschiedenen Personen ungleich zahlreich sind. Ich scheine zu denjenigen zu gehören, bei welchen die anästhetischen Punkte auf der Cornea sehr spärlich sind. Besonders zahlreich waren sie dagegen in dem unten unter 1.) angeführten Falle (s. u. Seite 581).

ruhige Beobachtung der erzeugten Empfindungen ist dies von Werth. Man kommt leicht dahin, die Empfindungen, welche aus den verschiedenartigen Reizungen resultiren, ganz objectiv zu beurtheilen, und vermag dann ganz genau den Grad der Reizung festzustellen, welchem etwas schmerzhaftes anhaftet. Bei gewöhnlicher Berührung mit einem nicht spitzigen Gegenstande ist dies nie der Fall. Man nehme nur eine Sonde oder ein Glasstäbchen mit stumpfspitzigem Ende zur Hand, und berühre mit diesem vorsichtig die Conjunctiva: man wird eine ganz deutliche Berührungsempfindung, aber keine Spur von Schmerz haben. Man kann schon recht derb aufdrücken, ehe man Schmerz empfindet.

Ich benützte zu diesen Versuchen u. A. eine feine Fischbeinsonde, die in ein längliches Knöpfchen von etwa $^1/_2$ mm Dicke endigt. Mit dieser kann ich auf der Conjunctiva Linien ziehen und beliebige Figuren beschreiben: ich empfinde sehr wohl die Berührung und die Bewegung des berührenden Gegenstandes, aber keinen Schmerz. Mit jedem abgerundeten glatten Gegenstande kann dieser Versuch gemacht werden. Den gleichen Dienst leistet die Spitze eines angefeuchteten weichen Pinsels. Ja, selbst die gewiss nicht allzuzarte Berührung mit dem (am besten angefeuchteten) Finger ist auf der nicht gereizten Conjunctiva häufig, nicht immer, schmerzlos.

Mit den nach v. Frey's Angaben hergerichteten Reizhaaren ist es ebenfalls leicht möglich, schmerzfreie Empfindungen auf der Conjunctiva zu erzeugen.

Ein leises Streichen mit der Spitze des senkrecht zum Bulbus gestellten (weichen) Haares ist bei mir, wenn überhaupt wahrnehmbar, stets schmerzlos. Dabei beobachtet man, dass ein Haar, dessen einfache Berührung nicht empfunden wird, bei der Bewegung wahrgenommen wird.

Auch wenn ich eine einmalige Berührung in der Weise ausführe, dass das Haar nicht senkrecht, sondern etwas schräg aufsteht, so ist die Empfindung ebenfalls in den meisten Fällen schmerzfrei. An manchen Stellen, besonders nasal von der Cornea, erzeugt auch das senkrechte Aufsetzen eines nicht zu spitzigen Haares einfache Berührungsempfindung.

Auf der anderen Seite kann ich die Berührung mit der erwähnten Sonde leicht schmerzhaft machen, indem ich dieselbe genau senkrecht aufsetze, so dass sie eine möglichst kleine Stelle

berührt. Die Berührung mit dem Pinsel wird unerträglich schmerzhaft, wenn derselbe trocken ist, sodass seine Haare einzeln hervorstehen und er nun senkrecht aufgesetzt wird.

Alle diese Angaben sind mir von sämmtlichen daraufhin untersuchten Personen bestätigt worden.

---

v. Frey hat offenbar übersehen, dass es doch nicht angeht, die Methoden zur Prüfung des Drucksinnes der äusseren Haut auf so empfindliche Theile, wie die Conjunctiva und Cornea, unverändert anzuwenden. Eine senkrechte Berührung mit einem Haare ist für die Conjunctiva, was für die Haut ein Nadelstich ist. Es ist nicht einmal nöthig, dass das Haar eine Continuitätsverletzung erzeuge und bis zum Nerven selbst vordringe (obgleich auch dies leicht vorkommen mag), sondern wie eine etwas stumpfe Nadel auf die Haut gedrückt, den stechenden Schmerz erzeugt, ohne dass sie die Epidermis durchdringt, so thut dies das Haar auf der zarten Bindehaut des Auges. Ein gewöhnliches Kopfhaar hat eine Endfläche, die nicht grösser, sondern kleiner ist, als diejenige einer gewöhnlichen Stecknadel. Das Haar functionirt also als stechender, nicht als einfach drückender Apparat. Wenn ihm an Steifheit gegenüber der Nadel viel abgeht, so ist dafür der Widerstand, den es in der weichen sulzigen Schleimhaut findet, ausserordentlich viel geringer, als derjenige, welchen die verhornte Epidermis der Nadel entgegensetzt. Auch die Schleimhäute der Zunge, des Zahnfleisches u. s. w. sind mit stärkerer Epidermis versehen, als die Conjunctiva und darum für leichte Stiche weniger empfindlich. An wenigen Stellen des Körpers sind sensible Nervenendigungen mechanischen Einwirkungen so zugänglich, wie in der Conjunctiva, an keiner so sehr, wie in der Cornea, wo sich die sensiblen Nerven in dem Epithel selbst verzweigen und der Oberfläche ausserordentlich nahe kommen. Damit soll nicht bestritten werden, dass vielleicht die Nerven der Conjunctiva und namentlich der Cornea einen ihnen spezifischen höheren Grad von Empfindlichkeit haben, als diejenigen der meisten anderen Schleimhäute, dass somit ihre Erregung leichter, d. h. schon bei geringerer Reizintensität in Schmerz übergeht. Eine solche Eigenschaft der Nervenendigungen in den äusseren Theilen des Auges wäre vom teleologischen Standpunkte recht wohl verständlich, wie überhaupt die reiche und ei-

genartige Innervation eines so hochwichtigen Theiles, wie es das Corneaepithel ist, durchaus zweckmässig und keinesfalls zufällig erscheinen muss. Darum wäre es, wie gesagt, auch nicht unverständlich, wenn die Cornealnerven einen besonders hohen Grad von Empfindlichkeit gewonnen hätten; jedoch liegt meines Wissens noch kein Grund vor, für sie eine solche Sonderstellung in Anspruch zu nehmen, sondern die eigenartige Ausbreitung und Endigung der Nerven im Corneaepithel scheint mir ihre physiologischen Eigenschaften genügend zu erklären.

In dieser Hinsicht ist noch zu bedenken, dass die im Corneaepithel sich verbreitenden Nerven auf einer verhältnissmässig harten Grundlage, dem festen knorpelähnlichen Cornealgewebe fast ohne jegliches weiche Zwischengewebe aufliegen, was die Schmerzhaftigkeit ihrer Reizung in ähnlicher Weise begünstigen muss, wie etwa das geringe Gewebspolster zwischen der Tibiakante und der über dieser liegenden Haut die Empfindlichkeit der letzteren zu einer hochgradigen macht. Man drücke mit einem stumpfschneidenden Instrumente, etwa einem Falzmesser, einmal gegen die Kante der Tibia, dann gegen die Haut der Wade, und man wird erkennen, wie gross der Unterschied ist. Im letzteren Falle muss, um Schmerz zu erzeugen, der ausgeübte Druck ausserordentlich viel stärker sein, als im ersteren. Dies ist nicht bedingt durch grössere Erregbarkeit der Nerven auf der Vorderseite, sondern durch den Umstand, dass die Haut dem Drucke nicht ausweichen kann, die Nervenendigungen vielmehr zwischen Druck und Gegendruck zu liegen kommen und eingeklemmt werden. Ein ähnliches Verhältniss, nur noch ausgeprägter, finden wir in den Nerven des Corneaepithels.

Mit der hochgradigen Empfindlichkeit der Cornea erscheint zunächst schwer vereinbar, dass erstens ein Theil der Cornea andauernd in Berührung mit einem festen Gegenstande, dem oberen Lide, ist, und dass zweitens bei jedem Lidschlage die ganze Cornea mit der Conjunctiva der Lider in Berührung kommt, ohne dass diese Berührung schmerzhaft wäre, ja selbst ohne dass man von dieser Berührung überhaupt eine Empfindung hätte.

Dies liegt nicht etwa daran, dass durch die Krümmung der Lider und ihre genaue Anpassung an die Form des Bulbus der Berührungsdruck ein sehr geringer sein könnte (thatsächlich ist er nicht einmal sehr gering), denn man kann durch Druck von aussen

auf das Lid den Druck sehr wesentlich erhöhen, ohne dass Schmerz in der so indirekt mitgedrückten Cornea aufträte. Auch nicht daran allein liegt es, dass das Lid sich tangential über die Cornea hinschiebt, während die gewöhnlichen experimentell erzeugten Berührungen meist annähernd radial auftreffen; man kann das Lid von der Cornea abheben und dann direkt auf deren Scheitel niederfallen lassen, ohne dass Schmerz dabei auftritt. Eine Empfindung hat man allerdings dabei, die keineswegs schmerzhaft ist; es ist aber nicht möglich, zu entscheiden, wieviel von dieser Berührungsempfindung auf Rechnung der Sensibilität der Cornea fällt, wieviel auf Rechnung der Conjunctiva palpebrae. Die Lokalisation der Empfindungen auf der gesammten Aussenfläche des Auges ist, wie v. Frey mit Recht angiebt, äusserst mangelhaft.

Entscheidend dafür, ob eine Berührung der Cornea (und in stark reducirtem Massstabe auch der Conjunctiva) Berührungsempfindung oder Schmerz hervorruft, ist vielmehr die Beschaffenheit des berührenden Gegenstandes. Welche Eigenschaften dieser haben muss, um keinen Schmerz zu erzeugen, können wir am einfachsten an demjenigen Objekte ablesen, welches notorisch keinen Schmerz erzeugt, an den Eigenschaften der Innenfläche der Lider.

Absolute spiegelnde Glätte, wie sie nur ein mit Flüssigkeit durchtränkter und von solcher benetzter Gegenstand haben kann, ist erstes Erforderniss.

Diese Feuchtigkeit muss, damit keine chemische Reizung stattfinde, eine indifferente Flüssigkeit sein, ähnlich der Thränenflüssigkeit. Experimentell könnte man dafür etwa die physiologische Kochsalzlösung setzen, wenn diese auch nicht ganz den gleichen Salzgehalt besitzt.

Damit keine unbeabsichtigte Temperaturempfindung mitspielt, muss der berührende Gegenstand etwa die gleiche Temperatur wie die Corneaoberfläche haben, also etwas erwärmt sein.

Als einen letzten, aber besonders wichtigen Punkt haben wir die Art zu berücksichtigen, wie der Gegenstand die Cornea berührt, ob flächenhaft oder punktförmig. Die leiseste punktförmige Berührung kann schmerzhaft sein, wie die Versuche von v. Frey mit den feinen Haaren lehren. Man braucht dabei wohl nicht daran zu denken, dass, wie bei der schmerzhaften Reizung der Conjunctiva, zu welcher freilich weit steifere Haare nothwendig

sind, das spitzige Haar eine Verletzung oder auch nur lokale Quetschung der Nervenendausbreitungen erzeugen müsse. Es erfolgt nämlich auch dann heftiger Schmerz, wenn das Haar linear statt punktförmig berührt, wobei also die stechende Wirkung der Spitze nicht in Betracht kommt. Auch eine schneidende Wirkung des Haares kann es kaum sein, denn auch das ruhig liegende, nicht nur das bewegte Haar schmerzt.

Legt man ein ganz weiches Kopfhaar auf die Conjunctiva und verschiebt es nun durch Zug an dem einen freien Ende, so dass es theilweise auf die Cornea zu liegen kommt, so empfindet man im ersten Augenblicke, wo das Haar die Cornea berührt, so gut wie gar nichts. Nach 1—2 Sekunden beginnt dann heftiger Schmerz aufzutreten, auch wenn das Haar ruhig liegt. Noch heftiger, fast den reflektorischen Lidschlag erzwingend, wird der Schmerz, wenn man ohne die Vorsichtsmassregel des tangentialen Herüberziehens des Haares von der Conjunctiva auf die Cornea das Haar direkt auf diese auflegt.

Auch hierbei beobachtet man anfangs geringe Empfindung, nach 3—4 Sekunden rasche Steigerung des Schmerzes, der in 5—6 Sekunden seinen Höhepunkt erreicht hat.

Die Frage, wie ein in so schonender Weise auf die Cornea gebrachtes, nicht stechendes, Haar diese schmerzhaft reizen kann, scheint mir noch die dunkelste auf diesem Gebiete zu sein. v. Frey findet allerdings, wenn ein Haar einige Sekunden (mit der Spitze) die Cornea berührt hatte, an der betreffenden Stelle „eine Delle, eine umschriebene Rauhigkeit der Cornealfläche". Er knüpft daran die Vermuthung, „dass ein Reiz, der die Nervenenden nicht unmittelbar trifft oder für deren direkte Erregung zu schwach ist, wirksam werden kann, wenn er durch Schädigung des Epithels oder Störungen des Säftestromes im Gewebe chemische Alterationen hervorruft." (l. c. pg. 193.)

Völlig befriedigend kann ich indessen diese Erklärung doch nicht finden[1]).

1) Die erwähnte Thatsache des allmählichen Auftretens von Schmerz nach einer an sich nicht schmerzhaften Berührung könnte im Sinne der Auffassung des Schmerzes als eines „Summationsphänomens" (vergl. Goldscheider, Ueber den Schmerz) verwerthet werden.

Nachdem somit die Eigenschaften kurz erwähnt worden sind, welche darüber entscheiden, ob ein die Cornea berührender Gegenstand schmerzhaft empfunden wird, oder eine einfache Berührungsempfindung auslöst, haben wir uns die Frage vorzulegen, in welcher Weise durch eine experimentell erzeugte schmerzlose Berührung der Cornea die Behauptung v. Frey's, dass die Cornea nur schmerzhafter Empfindungen fähig sei, was zugleich der Ausdruck der allgemeinen Meinung ist, widerlegt werden kann. Molter[1]) und Dessoir[2]) geben an, dass die Cornea auch der schmerzlosen Berührungsempfindung fähig sei; Dessoir bekämpft Hoggan's[3]) gegentheilige Behauptung, giebt aber leider nicht an, wie er selbst experimentirt hat. Auf Molter's Resultat komme ich weiter unten noch zu sprechen.

Schmerzlose Berührung der Cornea scheint bei verschiedenen Menschen sehr verschieden leicht erzielt zu werden. Berühre ich mit einem mässig feinen Haare (0,08 mm Durchmesser) meine Cornea an beliebiger Stelle, indem ich es vermeide, durch genau senkrechtes Aufsetzen eine stechende Wirkung auszuüben, und statt dessen das Haar etwas schief auflege, so habe ich im ersten Moment sehr deutlich eine nicht schmerzhafte Empfindung von geringer Intensität. Zuweilen macht sie den Eindruck des Kitzels (vielleicht, wenn das Haar ungleichmässig, zitternd und schwankend die Cornea berührte), seltener ist auch bei dieser Reizungsart die Empfindung schmerzhaft.

Hebe ich sogleich wieder das berührende Haar ab, sowie eine Empfindung entstanden ist, so bleibt es bei dem eben erwähnten Empfindungscharakter. Nur wenn ich die Berührung mehrere Sekunden andauern lasse, tritt jener heftige Schmerz auf, von dem v. Frey spricht, und dessen ich auch schon oben Erwähnung gethan habe.

Es scheint, dass dieses Verhalten das ganz gewöhnliche ist, wenigstens habe ich von mehreren darauf hin untersuchten Per-

---

1) A. Molter, Ueber die Sensibilitätsverhältnisse der menschlichen Cornea. Dissertation, Erlangen 1878.

2) M. Dessoir, Ueber den Hautsinn. Arch. f. Physiologie v. Du Bois-Reymond. Jahrgang 1892. S. 175.

3) Hoggan, Linnean Soc. Journ. Zoology XVI. 82 ff., citirt nach Dessoir, war mir nicht zugänglich.

sonen Auskunft erhalten, die mit dem von mir wahrgenommenen sehr gut übereinstimmt. Nur ist die Reizschwelle, bei welcher überhaupt Empfindung in der Cornea auftritt, und ebenso diejenige Reizstärke, bei welcher die Empfindung schmerzhaft wird, bei den einzelnen Individuen offenbar verschieden.

So wurde bei der Prüfung eines äusserlich völlig normalen (myopischen) Auges die kurze Berührung auch mit senkrecht aufgesetztem Haare meistens wahrgenommen, aber als völlig schmerzlos bezeichnet. Nicht einmal der Lidreflex trat hierbei regelmässig auf. Ich bemerke, dass das betreffende Individuum von dem Zweck des Versuches keine Kenntniss hatte.

Eine andere Art, eine schmerzlose Berührung der Cornea zu erzielen, ergiebt sich aus möglichst genauer Nachahmung der oben skizzirten Eigenschaften der die Cornea stets schmerzlos berührenden inneren Lidfläche durch einen anderen Gegenstand. Am besten eignet sich hierzu, wie ich finde, ein weicher feiner Pinsel. Ein solcher, in 0,6 procentige Kochsalzlösung von 40° bis 50°.C. getaucht und dann auf die Cornea aufgelegt, erzeugt keinen Schmerz, oder wenigstens keinen Schmerz, der über den ersten Augenblick der Berührung hinaus andauert. Im ersten Moment ist allerdings der Reiz zum Lidschlag ein heftiger und schwer unterdrückbarer. Bei mehrmaligen Versuchen kommt man übrigens sehr bald dahin, diesen Reflex mühelos zu unterdrücken. Liegt nun der Pinsel, schwimmend nass von der Kochsalzlösung, der Cornea ruhig an, so fehlt jegliche Empfindung. Drückt man ihn dagegen etwas stärker auf oder bewegt ihn hin und her, so tritt neben vorübergehenden ganz leichten Schmerzempfindungen ab und zu eine deutliche, nicht schmerzhafte Sensation auf. Im Allgemeinen aber wird von der ganzen Berührung und Bewegung überraschend wenig empfunden.

Dieselbe Versuchsanordnung ist zugleich die geeignetste, um die Temperaturempfindung der Cornea zu prüfen, worauf ich unten noch zu sprechen komme.

Molter hat in seiner oben citirten Dissertation noch die Resultate einer anderen, von mir nicht verwandten Prüfungsmethode für die Sensibilität der Cornea mitgetheilt. Er prüfte nämlich ausser der Empfindlichkeit für einfache Berührung mit einer feinen

Pinselspitze noch den „Drucksinn" mittelst des Eulenburg'schen Barästhesiometers, scheint also die Berührungsempfindung als etwas von der Druckempfindung trennbares und getrenntes anzusehen. Heutzutage wird diese Unterscheidung wenig Anklang finden, man sieht in Berührungsempfindung die Empfindung eines geringen Druckes. Wenn Molter in einzelnen pathologischen Fällen fand, dass ein Druck bis zu 6 gr oder bis zu 10 gr[1]) nicht wahrgenommen wurde, darüber hinaus aber wahrgenommen werden konnte, wird man hierin nicht leicht mit Molter eine zahlenmässige Bestimmung der Hypaesthesie der Cornea finden können, sondern wird sagen müssen, in jenen Fällen war die Cornea total anästhetisch. Der Ort der Wahrnehmung eines relativ so hohen Druckes ist nicht die Cornea selbst, oder wenigstens nicht deren direkt gedrückter Theil, sondern vielleicht dessen intacte Nachbarschaft, vielleicht aber auch noch entferntere Theile, etwa die Conjunctiva, die hierbei etwas gezerrt werden mag, oder der ganze Bulbus bezw. das retrobulbäre Gewebe. Macht man die Cornea durch Cocain total anästhetisch, so wird ein relativ starker Druck auf dieselbe doch empfunden, nur nicht in der Cornea selbst, sondern an einem nicht näher bestimmbaren, entfernteren Orte. Dasselbe gilt für die cocainisirte Conjunctiva.

Am gesunden, dabei nicht cocainisirten Auge ist die Prüfung der Cornea mit so hohen Druckkräften wegen des heftigen Schmerzes überhaupt nicht einwandfrei auszuführen. Aber auch an der pathologisch unempfindlichen Cornea dürfte aus dem angegebenen Grunde die spezielle „Drucksinnsprüfung" wenig Werth haben.

II. Die Empfindlichkeit für thermische Reize.

In mancher Hinsicht interessanter als die Resultate mechanischer Reizung sind die Ergebnisse der Prüfung der Conjunctiva und Cornea auf die Fähigkeit, Temperaturen wahrzunehmen. Dass v. Frey die Existenz solcher Wahrnehmungen bestreitet, kann nicht Wunder nehmen, wenn man erfährt, wie er die Prüfung anstellte. Die betreffende Stelle lautet (l. c. p. 195): „Wird die Spitze des Reizhaares durch einige Sekunden mit einem Eisstück in Berührung gebracht, oder in Wasser von 50° getaucht, so wird

1) Auf welche Fläche sich dieser Druck vertheilte, ist nicht angegeben.

die Berührung auf der ganzen Aussenseite des Lides, einschliesslich der haarlosen Kante, als kalt, bezw. warm empfunden. Auf Cornea und Conjunctiva wird dagegen die Berührung mit dem kalten wie mit dem warmen Haar, wenn überhaupt, nur in einerlei Weise, und zwar schmerzhaft empfunden."

Nachdem von v. Frey soeben festgestellt war, dass jede Berührung mit einem Haare am Auge Schmerz macht, konnte nicht wohl erwartet werden, dass ebenda auch noch die geringen Temperaturunterschiede wahrgenommen würden, welche die Haare haben konnten. Es ist ja bekannt, wie ein schmerzhafter Charakter einer Empfindung, deren sonstigen Charakter, das eigentliche Wesen der Empfindung übertäubt und verdeckt. Sodann muss aber auch die Methode, welche v. Frey anwendete, um Kälte und Wärme zu appliciren, als eine unzweckmässige bezeichnet werden. Die Wärmemenge, welche eine Haarspitze von weniger als $^1/_{100}$ mm Querschnitt und entsprechend geringer Masse aufnehmen kann, ist an sich schon sehr gering. Die kleine Wärmemenge oder der Erfolg der Abkühlung, welche man den Haaren durch Eintauchen in warmes Wasser oder das Anlegen von Eis mitgetheilt hatte, geht in der Zeit, die bis zur Application am Auge verstreicht, grösstentheils wieder verloren, das Haar nimmt nahezu Lufttemperatur an.

v. Frey berichtet nun allerdings, dass er die Temperaturunterschiede bei Application auf die Haut des Lides deutlich wahrgenommen habe. Leider gibt er nichts Näheres über die Anstellung dieser Versuche an. Sollte er die Versuche an sich selbst angestellt haben, so müsste ich ihre Beweiskraft bezweifeln, weil ich es für unmöglich halte, sich bei derartigen Versuchen vor Autosuggestion sicher zu schützen. Weiss man vorher, ob man voraussichtlich Wärme oder Kälte im einzelnen Falle empfinden wird, so „empfindet" man unvergleichlich viel sicherer das Richtige, als wenn man nicht vorher wusste, welche Empfindung zu erwarten sei. Ich stellte derartige Versuche zuerst an mir selber an, und war überrascht, wie deutlich ich namentlich die Wärme des erwärmten Haares zu fühlen glaubte. Als ich dann aber den Versuch durch einen Andern machen liess und nicht vorher wusste, welche Empfindung zu erwarten war, stellte sich die grösste Confusion ein. Ausgeprägte Wärmeempfindung gab ich zuweilen an, wenn Kälte applicirt war, und umgekehrt. Eine andere Versuchs-

person vermochte regelmässig, wie ich in einzelnen Fällen, keinen bestimmten Charakter der Empfindung anzugeben.

Wenn man recht dicke Haare anwendet, scheint es möglich zu sein, Wärme bezw. Kälte durch sie zu appliciren und zur Wahrnehmung zu bringen. Immer aber haftet dem Verfahren eine solche Unsicherheit an, dass es unmöglich ist, aus den erhaltenen Resultaten irgend welche Schlüsse zu ziehen. Wie man bekanntlich die Kälteempfindlichkeit der Haut nicht mittelst stark abgekühlter schlechter Wärmeleiter, sondern zweckmässiger durch Berührung mittelst guter Wärmeleiter, also mit Metallgegenständen prüft, so ist auch für die Conjunctiva dies die zweckmässigste Methode. Ein metallischer Sondenknopf von Lufttemperatur wird auf der Conjunctiva mit Sicherheit als kalt erkannt und von einem ebensolchen, der auf Körpertemperatur erwärmt ist, unterschieden.

Man gibt auch hiermit nicht die Möglichkeit isolirter Prüfung kleiner Stellen preis. Man kann feine Metallsonden verwenden, welche Knöpfchen von einem halben Millimeter Dicke haben. Auch sie werden an vielen Stellen deutlich als kalt bezw. warm empfunden. Freilich darf man nicht glauben, mittelst eines solchen Instrumentes die „Kältepunkte“ der Conjunctiva feststellen zu können, d. h. bestimmen zu können, welche Stellen der alleinige Sitz der Kältewahrnehmung sind. Man setzt sich sonst allen jenen irreleitenden Zufälligkeiten aus, welche in der Geschichte der „Sinnespunkte“ der Haut eine so grosse Rolle spielen, und vor welchen Dessoir[1]) kürzlich mit Recht gewarnt hat. Man findet

1) Max Dessoir, Ueber den Hautsinn. Arch. f. Physiol. v. Du Bois-Reymond 1892 pag. 175. Wenn ich hierin Dessoir zustimme und annehme, dass in der Lehre von den Sinnespunkten viel Autosuggestion und Uebertreibung mit untergelaufen ist, so muss ich auf der anderen Seite betonen, dass Dessoir ganz bestimmt im Unrecht ist, wenn er die Existenz von Kältepunkten läugnet und sie als stets durch Fehler der Aufmerksamkeit vorgetäuscht betrachtet. Es giebt Hautstellen, die zur Kälteempfindung absolut unfähig sind, und andererseits giebt es Stellen, welche sich bei jeder Prüfung als äusserst empfindlich für Kälte erweisen. Gerade wie auf der Conjunctiva liegen dazwischen Stellen, welche einen geringeren Grad von Kälteempfindung haben, wo die Kälte grösser sein muss, länger einwirken oder mit stärkerem Drucke verknüpft sein muss, um als solche empfunden zu werden.

Weit misslicher steht es mit den Wärmepunkten, in deren Abgrenzung

wohl mittelst der erwähnten feinen Sonde bestimmte Kältepunkte heraus, Punkte, an denen die Berührung mit einem kalten Gegenstande stets als kalt empfunden wird. Man findet aber zahlreiche Stellen als nicht kälteempfindlich, an denen man auf andere Weise leicht Kälteempfindung auslösen kann. Man braucht nur an Stelle der feinen Sonde eine andere mit recht dickem Metallknopf zu setzen, welcher sich vorne conisch verjüngt. Wegen der grösseren Masse des Metalles entzieht dieser Knopf der berührten Stelle mehr Wärme und nimmt lange nicht so schnell deren höhere Temperatur an. Die Resultate sind also sicherer. Da der stumpfspitzige Knopf die selbst schon kugelig gewölbte Conjunctiva bei leichtem Aufsetzen in einer nur kleinen Fläche berührt, braucht man nicht zu fürchten, einen grösseren Umkreis zu reizen, als denjenigen, welcher einem Kältepunkt zukommt. Die Reizung ist immer noch eine genügend lokalisirte. Trotzdem findet man auf diese Weise einen viel grösseren Theil der Conjunctiva kälteempfindlich, als mittelst der kleinen Sonde, welche nur die empfindlichsten Stellen herausfinden lässt. Diese graduelle Verschiedenheit der Kälteempfindlichkeit an den verschiedenen Punkten hat die Conjunctiva übrigens mit der Haut gemein. Ihre einwurfsfreie Erklärung scheint mir nicht unerheblichen Schwierigkeiten zu begegnen, worauf ich indessen an dieser Stelle nicht eingehen will.

Es ist nicht zu leugnen, dass die Kälteempfindung auf der Conjunctiva eine etwas andere „Färbung“ hat, als auf der trockenen Haut, z. B. des Lides. Dasselbe ist aber auch bei den anderen Schleimhäuten der Fall. Z. B. die Kälte, welche auf der Unterfläche der Zunge, nahe dem Frenulum, applicirt wird, wird etwas anders empfunden, als an der Lippe. Abgesehen davon, dass die höhere Eigentemperatur dieser Schleimhäute, sowie ihre Feuchtigkeit auf die Wahrnehmung von einem gewissen Einflusse sein kann, ist diese Erscheinung nur ein specieller Fall jener ganz allgemeinen Erfahrungsthatsache, dass einer Empfindung je nach dem Orte der erfolgten Reizung ein gewisses Etwas anhaftet, was sie mit einer an jedem anderen Orte ausgelösten Empfindung schwer vergleichbar macht. Es ist oft nicht nur das „Lokalzeichen“, was

der Willkür das meiste überlassen bleibt. Mit Dessoir läugne ich ferner die Möglichkeit, die Temperaturpunkte durch inadäquate Reize (Druck, Elektricität, Stich) zu ihrer spezifischen Empfindung zu veranlassen.

beide Empfindungen von einander unterscheidet, sondern etwas eigenartiges, von dem erst abstrahirt werden muss, um den reinen Begriff der betreffenden Sinnesempfindung zu gewinnen. So ist die Empfindung der Berührung mit einem Holzstäbchen an der Stirn eine andere als an der Lippe, wieder eine andere an der Nasenspitze. Massgebend wird hier neben der Dicke der Epidermis hauptsächlich die Grösse der einzelnen Tastkreise sein. Berücksichtigt man das allgemeine Vorkommen der Verschiedenheiten auf der gesammten Haut, so kann es nicht Wunder nehmen, wenn auch die Empfindungen der Conjunctiva und Cornea ihre specifischen Eigenthümlichkeiten haben. Sie besitzen darum noch Eigenschaften genug, welche ihnen mit den Empfindungen der Haut gemeinsam sind, so dass es ohne weiteres berechtigt ist, wenn man die Begriffe der Tast- und Temperaturempfindungen auch auf die Sinneseindrücke an den äusseren Theilen des Auges anwendet.

Ich bin auf diesen Gegenstand etwas näher eingegangen, weil es mir, nachdem v. Frey in so bestimmter Weise die Möglichkeit anderer als schmerzhafter Empfindungen am Auge geleugnet hat, nothwendig erschien, bei einer Widerlegung dieser Angabe alle etwa zu machenden Einwendungen von vorneherein nach Möglichkeit zu berücksichtigen.

Ich kann hier noch hinzufügen, dass ich die Kältewahrnehmung, sowie die Abwesenheit jedes Schmerzes bei Berührung der Conjunctiva nicht nur an mir selbst, sondern an zahlreichen anderen Personen in übereinstimmender Weise constatiren konnte.

Nun zur Wärmeempfindung. Nachdem ich an mir selbst und an anderen die grosse Sicherheit, mit der Kälte auf der Conjunctiva erkannt wird, festzustellen Gelegenheit gehabt hatte, war ich, als ich nun auch Wärmeprüfungen machte, sehr überrascht, zu finden, dass meine Conjunctiva absolut unfähig ist, deutliche Wärmeempfindung zu vermitteln. v. Frey hatte zwar dies schon behauptet, aber erstens hatte er der Conjunctiva zugleich die Fähigkeit der Kältewahrnehmung abgesprochen, und zweitens konnten seine Versuche weder für das eine noch das andere für beweisend gelten. Wegen des grossen Interesses, welches die Thatsache der Wärmeanästhesie der Conjunctiva bei bestehender Kälteempfindlichkeit für die Sinnesphysiologie bieten musste, habe ich zur genauen Prüfung dieser Frage die verschiedensten Methoden angewandt. Ich habe Wärme punktförmig, oder auf möglichst grossen

Flächen der Conjunctiva zugeführt, habe Metallsonden, oder Glasstäbe erwärmt und angelegt, habe nach Molter's Vorgang mit warmem Wasser gefüllte Glasröhren, welche an ihrem Ende eine etwas platt gedrückte Spitze hatten, angelegt, wobei sich die einwirkende Temperatur ziemlich genau controliren lässt. Endlich habe ich auch Pinsel in heisses Wasser getaucht und hiermit die Conjunctiva in kleiner oder grosser Ausdehnung berührt oder bestrichen: Eine deutliche Wärmeempfindung habe ich in keinem einzigen Falle gehabt[1]). Alle jene Methoden gestatten mit Leichtigkeit eine eng lokalisirende Wärmesinnprüfung auf der Haut des Lides und dem Lidrande; auf der Conjunctiva lösen sie keine Wärmeempfindung aus. Geht man mit den Temperaturen über etwa 60° in die Höhe, so hat man einen deutlichen Schmerz, der sich aber durch nichts als ein durch Wärme erzeugter Schmerz bekundet. Er könnte ebensogut durch Kälte, wie durch mechanische oder chemische Reizung erzeugt sein.

Geht man mit den Temperaturen unter die Grenze herunter[2]), bei welcher Schmerz entsteht, so kann es bei eng lokalisirter Reizung natürlich vorkommen, dass man mit dem warmen Gegenstande gerade eine überhaupt unempfindliche Stelle trifft und folg-

---

1) Bei hohen, an's Schmerzhafte grenzenden Wärmegraden habe ich, wenn ich den heissen Pinsel in sehr breiter Fläche auf die Conjunctiva auflege, wohl ein Gefühl, das ich als Hitze allenfalls bezeichnen könnte. Ich brauche jetzt aber nur mit dem gleichen Pinsel die Haut an beliebiger anderer Stelle rasch zu berühren, um zu erkennen, dass die Empfindung am Auge nur einen ganz entfernten Anklang an die hier ausgelöste, sehr prägnante Sensation zeigt.

2) Genauere Zahlenangaben für die von mir verwendeten Temperaturgrade lasse ich hier, wie an den anderen Stellen, mit Absicht beiseite, weil die Temperatur des Wassers, in welches man den zur Wärmeapplication dienenden Pinsel oder die Sonde eintaucht, nicht diejenige ist, welche dann wirklich zur Einwirkung auf die Conjunctiva kommt. Diese ist vielmehr um sehr schwankende Werthe niedriger als jene. Die Abkühlung geschieht um so rascher, je kleiner die Masse des Sondenknopfes oder Pinsels ist; ausserdem kommt die Schnelligkeit, mit welcher man den erwärmten Gegenstand an das zu untersuchende Auge heranbringen kann, sehr in Betracht, es spielt also, neben der Gewandtheit des Untersuchenden, auch die Eigenart der untersuchten Person eine bedeutende Rolle, lauter Umstände, welche den Werth von genauen Temperaturangaben illusorisch machen.

lich die Berührung gar nicht empfindet. Trifft man eine berührungsempfindliche Stelle, so hat die Berührungsempfindung, welche hierbei auftritt, nichts von einer bestimmten Temperaturempfindung an sich. Prüfte ich andere Personen, so erhielt ich in solchem Falle die Antwort: ich fühle es, aber ich kann nicht sagen, ob kalt oder warm.

Bemerkenswerth ist, dass bei Abtastung der Conjunctiva mit warmen (nicht allzuheissen) Gegenständen beträchtlich mehr Punkte gefunden werden, an welchen die Berührung nicht oder fast nicht wahrgenommen wird, als wenn hierbei ein kalter Gegenstand zur Verwendung kam. Dies beruht in der Hauptsache jedenfalls darauf, dass bei „Kalt-Berührung" ausser den Druckpunkten noch die Kältepunkte erregt werden, während der lauwarme Gegenstand nur durch Erregung der Druckpunkte reizt. Uebrigens darf auch nicht vergessen werden, dass die Empfindung „Kalt-Berührung" auffallender ist und sich mehr im Bewusstsein vordrängt, als die einfache Berührungsempfindung ohne Temperaturfärbung.

Auch der reflectorische Lidschlag tritt bei Warm-Berührung ausserordentlich viel seltener ein, und ist leichter zu unterdrücken, als bei Kaltberührung. Dies gilt auch für die Cornea.

Nach vielfachem Hin- und Herprobiren habe ich schliesslich als die zweckmässigste Methode zur Prüfung des Temperatursinnes der Conjunctiva, wie auch der Cornea, diejenige mittelst eines weichen Pinsels gefunden. Der nasse Pinsel erzeugt eine höchst geringfügige Berührungsempfindung, welche bei Vorhandensein eines Temperatureindrucks von diesem vollständig unterdrückt wird. Auch ist diese Methode am schonendsten, es tritt nie Schmerz dabei auf, deshalb sind die Reflexbewegungen schwächer und sind leichter zu unterdrücken. Dass der Lidschlag ausbleibt, ist unbedingtes Erforderniss für einen reinen Versuch. Denn wenn bei der Berührung der Conjunctiva der Lidschlag eintritt, wird erstens die Flüssigkeit, die aus dem Pinsel auf die Conjunctiva fliesst, über die ganze Aussenfläche des Bulbus vertheilt, und zweitens berührt dabei meistens der Pinsel den Rand eines oder beider Lider, welche zu Temperaturwahrnehmungen in hohem Grade befähigt sind. Ob dann die von der untersuchten Person angegebene Temperaturempfindung am Lidrande, an der Conjunctiva, oder der Cornea erfolgt

ist, kann nicht festgestellt werden. Ich verlange daher von den Versuchspersonen die bestimmte Aeusserung darüber, ob und was für eine Temperaturempfindung sie haben, ehe ein Lidschlag erfolgt, also möglichst schnell nach erfolgter Berührung. Nöthigenfalls halte ich das obere Lid fest. Die Versuche sollten nie länger als einige Minuten fortgesetzt werden, weil erstens bei manchen Menschen selbst bei schonendster Untersuchung rasch eine leichte Injection der Conjunctiva entsteht (besonders leicht bei Berührung mit harten Gegenständen, auch den Reizhaaren), und weil zweitens eine unermüdete Aufmerksamkeit Hauptbedingung für die Möglichkeit genauer Selbstbeobachtung des Untersuchten und für prompte Auskunft über die stattfindende Empfindung ist. Aengstliche Personen sind darum von vorneherein für diese Versuche ungeeignet, ebenso solche, bei welchen der Lidreflex unbezwinglich auftritt.

So interessant und wünschenswerth es wäre, genaue Untersuchungen der vorbeschriebenen Art an einer grossen Zahl von gesunden und kranken Augen auszuführen, so musste ich mich doch bisher auf die Prüfung einer verhältnissmässig kleinen Zahl von Fällen beschränken, und konnte namentlich pathologische Verhältnisse nur streifen. Einen Anfang zur Prüfung der Sensibilitätsverhältnisse erkrankter Augen hat Molter gemacht und mehrere bemerkenswerthe Resultate erhalten. Eine Weiterführung dieser Untersuchungen würde ein dankbares und dankenswerthes Unternehmen sein.

Molter hat nur die Cornea berücksichtigt, von der Conjunctiva gibt er nur gelegentlich an, dass sie „in ausgezeichneter Weise Temperaturunterschiede empfindet, was wohl auch von vorneherein zu erwarten" sei, „da dieselbe mit den Tastkörperchen der äusseren Haut analoge Bildungen aufzuweisen hat". Die Anschauung, dass die Tastkörperchen der Temperaturempfindung dienen, ist bekanntlich jetzt stark in Misscredit gekommen.

Ob Molter Wärmeempfindungen auf der Conjunctiva auslösen konnte, geht aus seiner Mittheilung nicht hervor, doch würde er, wenn er das Fehlen dieser Empfindungsqualität bemerkt hätte, dies wahrscheinlich erwähnt haben. Da ich auch anderwärts keine Angabe über diese Eigenthümlichkeit der Conjunctiva finden konnte, musste ich zunächst die Möglichkeit in Betracht ziehen, dass meine

Conjunctiva sich abweichend von derjenigen der meisten anderen Menschen verhalte, das Fehlen der Wärmeempfindlichkeit also etwas gewissermassen pathologisches wäre. Diese Vermuthung wurde indessen sofort durch die Untersuchung anderer Individuen widerlegt. Ich theile im Folgenden kurz meine Resultate an denjenigen Personen mit, welche ich am genauesten geprüft habe. Die Mehrzahl dieser Personen waren Patienten der hiesigen Universitäts-Augenklinik.

1) M. M. 16 J. w. Rechtes Auge, äusserlich völlig normal. Starke Myopie.

Experimentelles Ergebniss fast genau wie oben bei Prüfung meiner eigenen Augen. Leichte Berührung der Conjunctiva wird an manchen Stellen nicht empfunden, an anderen deutlich wahrgenommen, ist nie schmerzhaft. Auf der Cornea bei Berührung mit einem feinen Reizhaare empfindungslose Stellen zu constatiren.

Kälte wird sowohl auf der Conjunctiva, wie auf der Cornea meistens bestimmt wahrgenommen und präcise angegeben. Auf der Conjunctiva finden sich Stellen, welche bei Berührung mit einem feinen kalten Pinsel nur die Berührung empfinden. In allen Fällen, wo Kälte nicht wahrgenommen wird, sagt die Patientin, sie könne nicht sagen, ob der Pinsel kalt oder warm sei. Wärme wird auf der Cornea und Conjunctiva nie erkannt. Warm-Berührung wird öfter nicht wahrgenommen als kalte, löst auch stets geringeren Lidreflex aus. Bei hohen Wärmegraden wird zuweilen Schmerz angegeben.

Am Lidrande wird Wärme und Kälte stets richtig erkannt, an der Caruncula ebenfalls beides, aber etwas weniger sicher. Die Conjunctiva palpebrae inf. verhält sich wie die Conjunctiva bulbi, nur muss sowohl Berührungs- wie Kältereiz stärker sein, als bei jener. Noch weniger empfindlich für Berührung ist die Umschlagsfalte der Conjunctiva am Unterlide, sowie die Conjunctiva des Oberlides nach künstlicher Ectropionirung des Oberlides. Hier wird Kälte gar nicht wahrgenommen. Berührung unsicher.

2) B. E. 25 J. w. Rechtes Auge, aphakisch, äusserlich normal.

Befund im Allgemeinen wie bei 1, nur wird bei der ersten Prüfung auch öfters Wärmeempfindung angegeben, meistens richtig. Erneute Prüfung zeigt, dass eine wirkliche Wärmeempfindung offenbar nicht zu Stande kommt; es wird jede nicht kalte Berührung als warme bezeichnet Nachdem der Unterschied zwischen Wärmeempfindung und einfacher Berührungsempfindung der Patientin an der Haut des Lides klar gemacht ist, werden regelmässig Angaben gemacht, die mit denjenigen von Fall 1 übereinstimmen.

Cornea nicht untersucht.

3) P. H. 20 J. w. rechtes Auge, völlig normal, sehr weite Lidspalte, daher bequem zu untersuchen. Präcise Angaben, mühelose Unterdrückung des Lidschlages selbst bei (vorsichtiger) Untersuchung der Cornea.

Ergebnisse ganz wie bei 1. Wärme (bei gegen 100 Versuchen) kein einziges Mal auf der Conjunctiva und Cornea erkannt, selbst wenn sie bis zu einer auf der Haut stark schmerzhaften Höhe gesteigert wird. Caruncula und Plica semilunaris erkennt Kälte sicher, Wärme ganz unsicher.

4) Dieselbe Patientin, linkes Auge. Chorioretinitis. Röthung und Schwellung in Folge einer vor 5 Tagen ausgeführten subconjunctivalen Sublimatinjection unterhalb der Cornea. Atropinpupille.

Befund qualitativ wie am anderen Auge. Empfindlichkeit für Berührung, wie für Kälte beträchtlich herabgesetzt, namentlich unterhalb der Cornea. Es wird spontan angegeben, dass alle Berührungen links weniger deutlich empfunden werden, als rechts. Häufiger als rechts wird die Berührung gar nicht wahrgenommen. Nie Schmerz bei Berührung.

Am Tage darauf ist die Conjunctivalreizung merklich zurückgegangen. Der Unterschied in der Sensibilität beider Augen ist kaum mehr nachweisbar.

5) A. S. 22 J. w. Links Abducenslähmung aus unbekannter Ursache. Aeusserlich beide Augen völlig normal. Die Patientin ist im Uebrigen gesund. Verhalten gegen Berührung wie bei den vorigen Fällen. Auf der Conjunctiva und Cornea beider Augen wird weder Wärme noch Kälte erkannt. Es kann nie sicher angegeben werden, ob warm oder kalt. In einzelnen Fällen wird vermuthet, es könnte Wärme applicirt sein, einmal richtig, mehreremal falsch (bei Kälteapplication). Um die Schärfe der Aufmerksamkeit und die Zuverlässigkeit der Angaben zu prüfen, wird wiederholt der Lidrand und andere Partien in der Nähe des Auges berührt, wobei stets präcise die richtige Antwort erfolgt (auch bei Warm-Berührung).

Bei häufig wiederholter Prüfung stets das gleiche Ergebniss: völlige Unfähigkeit zur Wahrnehmung von Temperaturen auf Cornea und Conjunctiva.

6) J. A. 15 J. m. Links Cataracta traumatica, Conjunctivalinjection. Rechtes Auge normal.

Rechts: Wärme, Kälte, und einfache Berührung wird deutlich erkannt. Ganz selten eine Fehlangabe. Die Wärme wird dem Grade nach unterschieden, als heiss oder lau, deutlich warm und wenig warm.

Links: Dasselbe Ergebniss, nur quantitativ geringere Empfindlichkeit.

Cornea nicht geprüft. Leider wurde versäumt, zu prüfen, ob ein trockner Pinsel auch als „warm“ bezeichnet wird, ob daher die Bezeichnung warm als gleichbedeutend mit „nicht kalt“ oder „temperaturlos“ zu setzen ist.

7) M. K. 14 J. m.

Beiderseits Ergebniss wie bei 1 und 3, etwas weniger prompte Angaben wegen schwer unterdrückbaren Reflexes. Wärme an Conjunctiva nie erkannt, am Lide regelmässig erkannt.

8) X. S. 20 J. m.

Beiderseits Netzhautablösung mit merkwürdigen ringförmigen Faltenbildungen der Retina. Rechtes Auge stärker erkrankt.

Linkes Auge, äusserlich normal. Ergebniss wie bei 1 und 3 etc.

Rechtes Auge, Conjunctiva geröthet, empfindlich, bei Berührung schwer unterdrückbarer Reflex. Kälte kein einziges Mal erkannt.

9) G. m. Normale Augen. Beiderseits wie 1 und 3 etc. Kälte an vielen Punkten deutlich erkannt, Wärme nie. Warm-Berührung als temperaturlos bezeichnet.

10) C. L. m. Ebenso. Wärme nur als „nicht kalt“ empfunden.

11) K. B. 39 J. w. Beiderseits Reste von Pupillarmembran. Aeusserlich normal.

Wie 1 und 3 etc., nur Caruncula ohne Temperaturempfindung.

12) B. F. 49 J. w. Beiderseits Retinitis pigmentosa, Conjunctiva injicirt.

Sensibilität beider Conjunctiven herabgesetzt. Im Uebrigen wie 1), 3) etc.

Aus dieser Versuchsreihe geht hervor, dass die Wahrnehmung von Kälte auf der Conjunctiva etwas ganz gewöhnliches ist, und dass bei Berührung mit einem kalten Gegenstande an vielen Stellen der Conjunctiva die Angabe „kalt“ sofort ganz prompt erfolgt. Um so interessanter ist es, dass in einem Falle (5) die Möglichkeit, einen berührenden Gegenstand als kalt zu erkennen, jedesmal bestimmt geleugnet wurde. Aus dem ganzen Verhalten des betreffenden Individuums geht mir mit Sicherheit hervor, dass hier wirklich eine Berührungsempfindung ohne Temperaturfärbung zu Stande kam, trotzdem dass die Augen äusserlich völlig normal waren. Wenn man die Conjunctiva (und Cornea) der meisten anderen Menschen als „wärmeblind“ bezeichnen kann, wäre in jenem Falle Wärme-Kälteblindheit[1]) zu constatiren. Ich würde den gemachten Angaben misstraut haben, wenn nicht erstens die Patientin von dem Zweck der Prüfung ohne jede Kenntniss gewesen wäre, und wenn nicht zweitens bei Berührung des Lidrandes die Angabe „warm“ oder „kalt“ sofort, meistens richtig erfolgt wäre. Es wäre von Werth, dem Vorkommen einer solchen Wärme-Kälteblindheit weiter nachzuforschen.

---

1) Ein solcher Ausdruck, der auf die Analogie mit der Farbenblindheit hinweist, wird sich vielleicht als zweckmässig erweisen, wenn die Pathologie das Vorkommen derartiger Anomalien mehr als bisher berücksichtigen wird. Er dürfte der gleichbedeutenden Bezeichnung Thermanästhesie und Psychranästhesie vorzuziehen sein.

Ob eine wirkliche Wärmeempfindung von Seite der Conjunctiva und Cornea überhaupt hervorgerufen werden kann, geht mir aus den vorliegenden Thatsachen noch nicht mit Sicherheit hervor. Ganz sicher ist dies bei den meisten Menschen nicht der Fall. Ich würde nicht so sehr Werth darauf legen, dass die untersuchten Patienten der Augenklinik die Auskunft gaben, sie könnten die Wärme nicht wahrnehmen. Entscheidend aber ist für mich die Bestätigung meiner Angabe von competenter Seite. So haben u. A. Herr Professor Dr. Grützner und Professor Dr. Gmelin (Stuttgart) die entsprechenden Versuche ebenfalls ausgeführt, bezw. durch mich ausführen lassen, und mir bestätigt, dass Berührung der Conjunctiva mit dem heissen Pinsel als temperaturlos, als „nicht kalt", aber nicht als „warm" empfunden wird [1]).

Ferner erhalte ich von allen Seiten die Bestätigung, dass eine nicht schmerzhafte Berührungsempfindung durch die Conjunctiva auf verschiedene Weise mit Leichtigkeit auszulösen ist.

Ueber die Temperaturwahrnehmungen auf der Cornea im speziellen sei noch folgendes bemerkt. Wegen der erheblichen Schwierigkeiten, welche eine derartige Untersuchung am normal empfindlichen Auge bietet, habe ich ausser an meinen eigenen Augen nur noch die Fälle 1, 3 und 5 in dieser Hinsicht untersucht. In allen diesen vier Fällen verhielt sich die Cornea wie die Conjunctiva, d. h. bei 1, 3, und bei mir empfand sie deutlich Kälte, nicht aber Wärme, im Falle 5 fehlte auch die Kältewarnehmung.

Molter und Dessoir geben beide an, dass Warm und Kalt auf der Cornea unterschieden werden, was mit meinen Beobachtungen übereinstimmt. Dagegen geht aus den Mittheilungen genannter Autoren wiederum nicht hervor, ob sie eine wirkliche Wärmeempfindung erzeugen konnten. Sie berücksichtigen die Existenz von Berührungsempfindungen ohne Temperaturfärbung nicht. Molter liess seine Patienten angeben, ob der berührende Gegen-

1) Zweckmässig ist es bei solchen Versuchen, nach der Berührung der Conjunctiva mit dem gleichen Pinsel rasch das Lid oder eine benachbarte Hautstelle zu berühren, wobei man sich überzeugt, dass der Pinsel noch warm oder gar heiss ist.

stand warm oder kalt sei, und erhielt nur bei kranker Cornea falsche Angaben. Dessoir schreibt (a. o. O. S. 275): „Auffallend deutlich ist die Temperaturempfindung; wenn der heftige Lidschlussreflex künstlich verhindert und das sehr peinliche Gefühl des Gereiztwerdens unterdrückt wird, so unterscheidet man nach meinen Erfahrungen nicht nur den warmen von dem kalten Sondenknopf, sondern auch Differenzen von etwa einem Grade."

Hierzu reicht nun allerdings der Kältesinn allein schon aus, doch ist mir nach den bisherigen Erfahrungen nicht ganz undenkbar, dass einzelne Menschen, unter ihnen vielleicht Dessoir, auch die Fähigkeit, Wärmeempfindungen in der Cornea zu haben, besitzen, wie es andererseits nicht abzuweisen ist, dass vielleicht von Frey's Conjunctiva und Cornea auch bei einwandfreier Untersuchung sich als unfähig erweisen würde, Temperaturen überhaupt wahrzunehmen.

Ich führe den Versuch am leichtesten in folgender Weise aus: Ich tauche einen feinen, ganz weichen Pinsel in (ca. 90°) heisse physiologische Kochsalzlösung, und probire dann an meinem Lidrande, ob der Pinsel nicht mehr schmerzhaft heiss ist. Sobald dieser Zeitpunkt der Abkühlung erreicht ist, lege ich den Pinsel bei weit geöffneten Lidern tangential auf die Cornea auf, wobei der Lidschlag leicht unterdrückt wird. Ich empfinde die Berührung, aber weder Wärme, noch Schmerz. Kommt es mir nur auf die Prüfung des Wärmesinnes an, so hebe ich nach einigen Sekunden den Pinsel wieder ab, und lege ihn abermals aufs Lid oder die Carunkel auf, um mich zu überzeugen, dass der Pinsel noch immer deutlich heiss ist.

Lasse ich den Pinsel aber auf der Cornea längere Zeit, 5 bis 10 Sekunden liegen, so tritt zu der fast unmerklich gewordenen Berührungsempfindung jetzt ein allmählich anwachsendes Kältegefühl hinzu, der Ausdruck der sehr rasch sich vollziehenden Abkühlung des feuchten Pinsels. Natürlich ist es auch leicht, den Kältesinn direkt durch Auflegung eines in kalte Flüssigkeit getauchten Pinsels zu prüfen, nur ist dabei der Lidschlag weit schwerer zu unterdrücken. Die Kälte wird dabei äusserst deutlich wahrgenommen.

Aus begreiflichen Gründen habe ich die applicirte Wärme nie so gesteigert, dass die Cornea starken Schmerz empfand. Jedoch dürfte der Beweis der Abwesenheit von Wärmesinnesorganen in der

Cornea auch durch die erwähnten Versuche mit Sicherheit geliefert sein.

Die Wahrnehmung der beiden anderen auf diese Frage untersuchten Personen stimmten nach ihren hinreichend präcisen Angaben mit den meinigen völlig überein.

Noch auf eine andere Art lässt sich die Kälteempfindlichkeit der Cornea (und ebenso der Conjunctiva), wenn auch nicht streng beweisend, zeigen, nämlich durch Application eines ganz leisen Luftstromes. Aus einem aufgeblähten und ein wenig beschwerten Gummisack liess ich die Luft durch eine Glasröhre mit ganz enger Mündung ausströmen. Ist die Mündung sehr eng und die Strömungsgeschwindigkeit sehr gering, so lässt sich durch diesen Apparat die Kälteempfindung auf der Haut ohne jeglichen merkbaren tactilen Reiz auslösen. Gegen die Cornea aus nächster Nähe geleitet, erzeugt dieser Luftstrom eine so intensive Kälteempfindung, dass es kaum möglich ist, das Auge offen zu halten.

Mittelst dieses Apparates ist es auch leicht, zu demonstriren, dass die reine Kälteempfindung einen deutlich verschiedenen Character erhält, wenn man den Luftstrom erst auf die Cornea und Conjunctiva leitet, und dann auf die Carunkel. Wieder anders, beinahe schmerzhaft, wird die Kälteempfindung an der Umschlagsfalte der Conjunctiva am Unterlide.

Erhitzt man die von der Luft durchströmte Glasröhre an irgend einer, am besten etwas verengten Stelle, so ist die austretende heisse Luft ein bequemes Mittel, auf der trockenen Haut reine Wärmereize von hoher Intensität zu appliciren. Auf die Conjunctiva und Cornea geleitet, erzeugt ein solcher, auf der Haut unerträglich heisser Luftstrom nicht Wärme-, sondern starke Kälteempfindung. Steigert man die Hitze noch weiter, was am einfachsten durch Verlangsamung des die erhitzte Glasröhre passirenden Luftstromes geschieht, so tritt zu der Kälteempfindung ein stechender Schmerz, sowohl auf der Conjunctiva wie der Cornea, ohne dass die Empfindung zuvor in Wärme- oder Hitzeempfindung übergeht.

Ich glaubte anfangs, darin eine Besonderheit der der Wärmeempfindung überhaupt entbehrenden äusseren Theile des Bulbus erblicken zu sollen, fand aber bald, dass dieselben Vorgänge sich

auch an anderen Schleimhäuten abspielen. Ein heisser Luftstrom, auf die Zunge geleitet, erzeugt Kälteempfindung, bei Steigerung der Hitze tritt, ohne vorherige Wärmeempfindung, ein stechender Schmerz auf, der nichts von Hitzegefühl an sich hat.

Dass ein warmer Luftstrom Kältegefühl erzeugt, auf den Schleimhäuten ebenso wie auf der angefeuchteten Haut, ist durch die überwiegende Wirkung der durch den Luftstrom erzeugten Verdunstungskälte zureichend erklärt; sehr auffallend aber ist es, dass auch auf der zur Wärmeempfindung befähigten Zunge die Empfindung bei Steigerung der Reiztemperatur aus Kälteempfindung gleich in Schmerz umschlägt, ohne zuvor ein, wenn auch noch so kurzes Stadium der Wärmeempfindung zu passiren. Doch habe ich dies Verhalten regelmässig beobachtet. Auf diese Thatsachen, sowie die Temperaturempfindungen in der angefeuchteten Haut gedenke ich bei anderer Gelegenheit zurückzukommen. Gerade die Temperaturwahrnehmung der Zunge und anderer Schleimhäute dürfte manches für die Theorie des Temperatursinnes Interessante ergeben.

3. Die Empfindlichkeit für chemische Reize.

Es wird leicht verständlich sein, wenn ich es unterlassen habe, ausführliche Versuchsreihen über die Wirkung chemischer Reize auf die Conjunctiva und Cornea anzustellen. Der chemische Reiz ist, wie der Wärmereiz, für diese Theile ein inadäquater, seine Wirkung ist, wenn er überhaupt empfunden wird, stets eine schmerzhafte Empfindung. Da ausserdem stärkere chemische Reize acute Schädigung der Conjunctiva und Cornea erzeugen, schwächere wenigstens bei öfterer Wiederholung der Versuche Injection und Schwellung der Conjunctiva hervorrufen, ist die Anstellung solcher Versuche an sich und Anderen misslich, sie wäre aber ausserdem fast werthlos, da man aus mannigfaltiger Erfahrung weiss, dass sich die Conjunctiva gegen chemische Reize sehr ähnlich den anderen empfindlichen Schleimhäuten verhält und kaum hervorstechende Besonderheiten bietet. Ich beschränke mich daher auf Mittheilung einiger mehr gelegentlich gemachter Beobachtungen.

Von Interesse dürfte die folgende Beobachtung sein, die ich an solchen Personen machte, bei welchen die Conjunctiva eines oder beider Augen im Reizungszustande sich befand, also geröthet

und etwas ödematös war. Auf einer solchen Conjunctiva ist die Wahrnehmungsfähigkeit sowohl für einfache Berührung als auch für Kälte herabgesetzt, zuweilen in überraschend hohem Grade. Dabei ist aber, wenn eine Berührung überhaupt wahrgenommen wird, dieselbe häufiger schmerzhaft als bei einem gesunden Auge; zugleich tritt der reflectorische Lidschluss stärker auf. Am auffallendsten zeigt sich diese Hyperalgesie bei Einwirkung von Wasser; lässt man aus einem nassen Pinsel, der an die Conjunctiva gebracht wird, einen Tropfen kaltes Wasser in den Conjunctivalsack laufen, so erzeugt derselbe, trotz der herabgesetzten Sensibilität bei dem entzündeten Auge heftigere Reaction als bei einem gesunden. Uebrigens reizt auch beim gesunden Auge Einträufeln namentlich von kaltem Wasser in den Conjunctivalsack in kurzer Zeit merklich. Diese Reizwirkung dürfte zum Theil auf chemischer Reizung beruhen, denn sie ist bei physiologischer Kochsalzlösung geringer, wie man namentlich an der Cornea deutlich empfindet.

Bekanntlich ist auch für die Nasenschleimhaut Wasser ein heftiger Reiz, physiologische Kochsalzlösung nicht.

Sehr ähnlich der respiratorischen Nasenschleimhaut verhält sich die Conjunctiva gegenüber der Einwirkung dampfförmiger, chemisch differenter Stoffe. Die gleichen Substanzen, die dort reizen, reizen auch hier, z. B. Ueberosmiumsäure, Formaldehyd (Formalin), Chloroform, Ammoniak, Chlor, schweflige Säure. Doch ist die Conjunctiva empfindlicher als die Nasenschleimhaut, wie man namentlich mittelst der erstgenannten beiden Substanzen leicht constatirt, und wie man auch am Rauche namentlich von Cigaretten zu bemerken Gelegenheit hat.

Die Schmerzempfindung tritt nach einer Latenzzeit, die oft mehrere Secunden dauert, auf, wächst rasch an und dauert regelmässig eine beträchtliche Zeit nach Entfernung des Reizstoffes fort. Dabei ist wohl daran zu denken, dass eine kleine Menge der reizenden Substanz sich auf der Schleimhaut condensirt hat und noch reizend wirkt, dass also der Fortdauer der Schmerzempfindung ein objectives Vorhandensein von Reizsubstanz entspricht. Nach einer solchen Reizung, z. B. durch Formaldehyddämpfe beobachtet man acute Röthung der Conjunctiva, die mindestens Minuten lang anhält.

Entgegen mehrfach aufgestellten Behauptungen muss ich betonen, dass die Wirkung eines Dampfes auf die Empfindungsnerven der Conjunctiva und Cornea und seine Wirkung auf den Geruchssinn vollständig unabhängig von einander sind. Ich habe schon an anderem Orte[1]) Anlass gehabt, darauf hinzuweisen, dass die ätherischen Oele und viele aromatische Substanzen, bei Zimmertemperatur verdampfend, keine irgendwie erhebliche Reizwirkung auf das Auge ausüben, selbst wenn sie demselben sehr nahe gebracht werden. Ich kann einen mit stark riechenden ätherischen Oelen befeuchteten Pinsel meinem Auge bis fast zur Berührung nähern, ohne den geringsten Reiz zu empfinden, und auch die Froschcornea wird in keiner Weise durch derartige Dämpfe gereizt. Hiermit ist der oft wiederholte Einwand hinfällig geworden, der von verschiedenen Seiten vorgebracht wurde, wenn diese Substanzen dazu verwendet worden waren, Versuche über das Riechvermögen der Thiere anzustellen. Es wurde gesagt, die Reizwirkung dieser Substanzen sei eine schmerzhafte, sie seien keine reinen Geruchsreize. Aus dem soeben Mitgetheilten geht hervor, dass dies zum Mindesten bedeutend übertrieben ist. Beschäftigt man sich stunden- oder tagelang, beispielsweise bei mikroskopischen Arbeiten, mit Bergamott- oder Cedernöl, so tritt eine leichte Reizung der Conjunctiva auf. Eine momentane oder auch nur innerhalb einiger Secunden eintretende Reizwirkung aber, wie der Formaldehyd und die Ueberosmiumsäure, üben die Dämpfe der ätherischen Oele nicht aus.

Dämpfe von Aether und in geringerem Maasse auch von Benzin erzeugen Kälteempfindung am Auge, nicht aber Schmerz.

In Lösung habe ich einige Alkaloide auf die Conjunctiva und Cornea einwirken lassen.

Cocain erzeugt bekanntlich, ehe es anästhesirt, einen geringen brennenden Schmerz. Erwärmt man die (4 %) Lösung so

1) Wilibald A. Nagel, Vergleichend physiologische und anatomische Untersuchungen über den Geruch- und Geschmackssinn und ihre Organe, mit einleitenden Betrachtungen aus der allgemeinen vergleichenden Sinnesphysiologie. Bibliotheca zoologica von Leuckart und Chun. Heft 18. Stuttgart 1894 (E. Nägele).

weit, dass der damit benetzte Pinsel auf der Haut deutlich heiss, aber nicht schmerzhaft empfunden wird, und lässt diese Flüssigkeit aus dem Pinsel in den Conjunctivalsack fliessen, so ist die unangenehme Empfindung verringert, aber immer noch deütlich. Das Cocainhydrochlorat reizt also chemisch die Conjunctivalnerven, ehe es sie lähmt.

Neutrales Chininsulfat in concentrirter Lösung (die etwas weniger als $^1/_8$% enthält) reizt, warm applicirt, sehr wenig, das Bisulfat wesentlich stärker.

Strychninnitrat in concentrirter Lösung reizt gar nicht, es wirkt so wenig ein, wie physiologische Kochsalzlösung.

Einen heftigen Reiz übt das Cumarin in wässeriger Lösung aus (es löst sich in sehr geringer Menge), obgleich es auf der Zunge nur eine geringe brennende Empfindung hervorruft. Vanillin ist fast wirkungslos, was ich deshalb hervorhebe, weil es gleich dem Cumarin einen sehr starken Reiz für die Hautsinnesorgane vieler Thiere, z. B. der Haifische, bildet[1]).

Es sei bei dieser Gelegenheit bemerkt, dass die Cocainisirung des Auges Erscheinungen beobachten lässt, welche mit den Anschauungen v. Frey's, dass Cornea und Conjunctiva nur „Schmerznerven" erhalten, absolut unvereinbar sind. Die sowohl während des Eintrittes, wie namentlich während des Verschwindens der Cocainwirkung zu beobachtende Erscheinung des fast völligen Verschwindens des Schmerzhaften bei einer Berührung der Cornea, welche dabei noch deutlich gefühlt wird, ist für v. Frey unerklärlich[2]).

1) Vergl. Wilibald A. Nagel, Bemerkungen über auffallend starke Einwirkung gewisser Substanzen auf die Empfindungsorgane einiger Thiere. Biol. Centralbl. Bd. XII. 1892.

2) Ueberhaupt muss gesagt werden, dass v. Frey den versuchten physiologischen Nachweis besonderer Schmerznerven und Schmerzorgane nicht erbracht hat, wie dies bezüglich der Corneal- und Conjunctivalnerven durch das bisher Mitgetheilte zur Genüge erwiesen sein dürfte. Aber auch v. Frey's frühere Versuche*) an der Haut liefern nicht den beabsichtigten Beweis für die Existenz von Schmerznerven, deren Existenz ich, im Anschluss

*) Die Gefühle etc.

Unter der Einwirkung des Cocains erlischt die Empfindlichkeit für mechanische, chemische und thermische Reize gleichzeitig, so dass es also nicht möglich ist, einen Zeitpunkt zu finden, wo etwa noch Berührung, aber nicht mehr Kälte empfunden wird, oder umgekehrt, festzustellen. Nur die Schmerzhaftigkeit erlischt, wie gesagt, etwas früher. Auch die Wiederkehr der Temperatur- und der Berührungsempfindungen erfolgt gleichzeitig.

IV. Die Empfindlichkeit für elektrische Reize.

Der Vollständigkeit halber habe ich auch die Wirkung elektrischer Reize auf die Conjunctiva und Cornea untersucht. Dieselbe bietet aber wenig Bemerkenswerthes. Ich verwendete hauptsächlich Inductionsströme. Die eine Elektrode nahm ich in die angefeuchtete Hand, die andere verband ich mit einem weichen Pinsel in Metallfassung, welcher in physiologische Kochsalzlösung getaucht wurde und eine feine Spitze hatte.

Die Reizschwelle, bei welcher Empfindung auftrat, liegt etwas höher, als bei der Reizung der Zungenspitze. Begreiflicherweise tritt Empfindung weit früher, d. h. bei weit grösserem Rollenabstande auf, wenn der Pinsel nur an einer sehr kleinen Stelle berührte, die Stromdichte also gross war.

Die zustandekommenden Empfindungen sind stets schmerzhaft, sowohl auf der Conjunctiva, wie auf der Cornea. Im Unterschiede zu dem Reizerfolge an der Zungenspitze ist diese Empfindung eine continuirliche, sie macht den Eindruck, als ob man einen stechenden Gegenstand andauernd aufdrückte. Auf der Zunge dagegen ist die Empfindung eine deutlich intermittirende, vibrirende. Andeutungen von intermittirender Empfindung in der Conjunctiva erhielt ich nur bei breitem Auflegen des Pinsels und relativ hohen Stromstärken.

Einzelne Stellen der Conjunctiva reagirten auf schwache Reize gar nicht, bei stärkeren Strömen dagegen fand ich keine unerregbaren Stellen, was bei dem Diffundiren des elektrischen Reizes nicht überraschen kann.

---

an Goldscheider's**) Ausführungen, für unwahrscheinlich halte. Mit dem Nachweis von sogenannten Schmerzpunkten ist die Existenz von Schmerznerven und Schmerzorganen nicht erwiesen.

**) A. Goldscheider, Ueber den Schmerz, in physiologischer und klinischer Hinsicht. Berlin 1894.

Der constante Strom erzeugt bei einer Stärke, bei welcher schon starke Lichtblitze auftreten, auf der Conjunctiva keine Empfindung. Auf der Cornea wird einfach der Berührungsschmerz vermehrt, wenn ein Strom von 2 bis 4 Zinkkohleelementen durch den berührenden Pinsel ins Auge tritt. Die Richtung des Stromes ist jedenfalls von geringem Einfluss, wenigstens bemerkte ich keine Verschiedenheit je nach der Stromesrichtung bei den wenigen Versuchen, auf welche ich mich wegen der rasch eintretenden Reizungszustände am Auge beschränkte.

Im bisherigen habe ich ausschliesslich die Cornea und Conjunctiva bulbi berücksichtigt, und es erübrigt daher noch ein paar Worte über die Sensibilität der Conjunctiva palpebrarum und der Caruncula zu sagen.

Die Conjunctiva palpebrae inferioris ist leicht zu untersuchen; es gilt für sie durchaus das für die Conjunctiva bulbi Gesagte. Eine Besonderheit der Umschlagsfalte zwischen beiden Theilen ist es aber, dass hier eine auffallend hochgradige Kälteempfindlichkeit besteht. Eine Metallsonde, die an anderen Stellen der Conjunctiva mässig kalt empfunden wird, erzeugt hier ein sehr intensives Kältegefühl, das sehr leicht ins Schmerzhafte umschlägt[1]). Gegen den äusseren Augenwinkel hin lässt diese Empfindlichkeit nach, gegen den inneren Augenwinkel hin nimmt sie eher noch zu. Für Kälte unempfindliche Stellen habe ich in der Umschlagsfalte nicht gefunden.

Die Empfindlichkeit für Berührung ist an der Umschlagsfalte eher geringer, als an der Conjunctiva. Wärme wird nicht als solche empfunden, mässig warme Gegenstände erscheinen temperaturlos, heissere schmerzen.

Auf die hochgradige Kälteempfindlichkeit der Umschlagsfalte ist es zurückzuführen, dass ein kalter Wassertropfen, in den Conjunctivalsack gebracht, eine so intensiv kalte, dabei schmerzhafte Empfindung hervorruft, die bei einem warmen Wassertropfen

---

1) Dieser Schmerz ist ein reiner Kälteschmerz, d. h. der gleiche Gegenstand, der kalt bei Berührung Schmerz macht, thut dies nach leichter Erwärmung nicht.

gänzlich fehlt[1]). Chemische Reizung tritt erst nach längerer Einwirkung von Wasser ein.

Die Caruncula verhält sich bei den verschiedenen Menschen verschieden. Bei mir und der Mehrzahl der untersuchten Personen nimmt sie Kälte und Wärme deutlich wahr, die Empfindungsqualität ist derjenigen der Haut sehr ähnlich. Auch mittelst des kalten und heissen Luftstromes untersucht erweist sich die Carunkel temperaturempfindlich. Der heisse Luftsstrom, der auf der Conjunctiva Kälte- und Schmerzempfindung erzeugt, wird auf der Carunkel sehr deutlich warm empfunden.

Bei manchen Menschen ist der Temperatursinn der Carunkel sehr wenig entwickelt, speziell habe ich das Fehlen der Kältewahrnehmung mehrfach gefunden.

Die Plica semilunaris (Palpebra tertia) verhält sich wie die Conjunctiva.

Die Conjunctiva des Oberlides ist schwer auf ihre Sensibilität zu prüfen. Bei künstlicher Ectropionirung des Oberlides nimmt dieser nicht gerade angenehme Akt die Aufmerksamkeit so stark in Anspruch, dass man kaum zuverlässige Selbstbeobachtung erwarten kann, und die gemachten Angaben vorsichtig aufzunehmen sind. Auch an mir selbst vermag ich diese Beobachtung nicht mit der nöthigen Objectivität zu machen.

Sicher ist die Berührungsempfindlichkeit der Conjunctiva am Oberlid geringer als an der übrigen Conjunctiva. Kälteempfindung habe ich nie erzielen können. Die Berührung mit einem kalten Sondenknopf empfinde ich so gut wie gar nicht. Hierbei ist übrigens nicht zu vergessen, dass die bei Ectropionirung unvermeidliche Zerrung der Conjunctiva deren Sensibilität bedeutend beeinträchtigen mag.

Zusammenfassung.

1. Die Angabe v. Frey's, dass die Conjunctiva und Cornea nur schmerzhafter Empfindung fähig sei, ist nicht zutreffend; der Irrthum ist erklärt durch die einseitige Verwendung der Reizhaare zur Sensibilitätsprüfung, welche stechend wirken. Bei Vermeidung stechender Wirkung erhält man reine Berührungsempfindungen auf der Conjunctiva.

---

1) Infolge dieser Eigenschaft der unteren Umschlagsfalte kann die chemische Reizwirkung einer Flüssigkeit einwandfrei nur geprüft werden, wenn man dieselbe zuvor auf etwa 40° erwärmt hat.

2. Schmerzlose Berührungsempfindungen auf der Cornea sind unter geeigneten Versuchsbedingungen ebenfalls leicht zu erzielen, am besten durch flächenhafte Berührung mit weichen, nassen und erwärmten Gegenständen. Kurzdauernde leichte punktförmige Berührung mit einem Haare ist ebenfalls schmerzlos.

3. Sowohl Conjunctiva wie Cornea vermögen zwar Wärme und Kälte zu „unterscheiden“, aber nur die Kaltberührung erzeugt neben der Berührungsempfindung eine spezifische Temperaturempfindung, Warmberührung aber erscheint als temperaturlos, als nicht-kalt, wenn sie nicht so hochgradig ist, dass Schmerz auftritt.

4. Unfähigkeit auch zur Kälteempfindung ist in einem Falle, bei sonst intacter Sensibilität, constatirt; das Vorkommen ausgeprägter Wärmeempfindung ist noch fraglich, jedenfalls ist es selten. Schwache Andeutungen von Hitzegefühl kommen vor.

5. Sowohl die Temperaturen wie die Berührungsreize werden an manchen Stellen deutlich, an anderen unsicher, wieder an anderen gar nicht wahrgenommen. Die Häufigkeit der anästhetischen Punkte, namentlich der Cornea, wechselt bei den einzelnen Individuen.

6. Die Conjunctiva des unteren Lides verhält sich, wie die Conjunctiva bulbi. Die Umschlagsfalte ist für Berührungen weniger empfindlich. Die Kälteempfindung geht hier leicht ins Schmerzhafte über. Wärmeempfindung fehlt.

Die Conjunctiva des oberen Lides, künstlich ectropionirt, ist fast unempfindlich für Berührung und Temperatur.

Die Plica semilunaris hat die gleichen sensiblen Eigenschaften, wie die Conjunctiva bulbi.

7. Die Caruncula nimmt sowohl Wärme, wie Kälte in der Mehrzahl der Fälle deutlich wahr.

8. Im Zustande der Entzündung der Conjunctiva ist die Wahrnehmungsfähigkeit für Berührung, wie für Kälte stark herabgesetzt, dagegen besteht Hyperalgesie namentlich gegen chemische Reize (auch den des Wassers).

9. Ein Luftstrom, der die Conjunctiva und Cornea trifft, wird als kalt empfunden, gleichviel ob er heiss oder kalt ist. Sehr heisse Luft erzeugt neben der Kälteempfindung Schmerz, keine Wärmeempfindung. Das gleiche gilt für die Schleimhaut der Zunge. Die Carunkel nimmt, wie die Haut, einen warmen Luftstrom als warm wahr.

10. Der Lidschlussreflex tritt bei Berührung der Cornea und Conjunctiva mit einem warmen Gegenstande weit weniger stark auf, als bei Berührung mit einem kalten Gegenstande.

Eine Berührung an Stellen der Cornea und Conjunctiva, welche zur Empfindung unfähig sind, erzeugt niemals Lidschlussreflex.

11. Der Reiz des Inductionsstromes wird (im Gegensatz zur Zunge) auf Conjunctiva und Cornea als ein continuirlicher, stechender Schmerz empfunden. Die Reizschwelle der Conjunctiva liegt höher, als auf der Zunge.

12. Der von v. Frey versuchte physiologische Nachweis von Schmerznerven und Schmerzsinnesorganen sowohl für Cornea und Conjunctiva, wie überhaupt, ist nicht in überzeugender Weise erbracht.

Zur Prüfung des Drucksinnes.

Von

Dr. rer. nat. ed med. **Willibald A. Nagel,**
Assistent am physiologischen Institut in Tübingen.

Im Anschlusse an die vorstehende Abhandlung, welche die Sensibilität der Conjunctiva und Cornea betrifft, möchte ich hier noch einem Bedenken gegen die Berechnungen Ausdruck geben, welche M. v. Frey[1]) seinen Sensibilitätsmessungen zu Grunde gelegt hat. v. Frey misst die Empfindlichkeit der einzelnen Hautstellen des menschlichen Körpers mittelst senkrecht auf die Haut aufgedrückter Haare von verschiedener Steifheit und Dicke. Das Maximum der Druckwirkung eines solchen Haares ist erreicht,

1) M. v. Frey, Beiträge zur Physiologie des Schmerzsinnes. Berichte d. math.-phys. Klasse d. königl. sächs. Ges. d. Wissenschaften zu Leipzig. Sitzung vom 2. Juli 1894. S. 185.

wenn es sich unter dem Gegendrucke der Haut, auf die es aufgedrückt wird, stark biegt. Diese maximale Druckwirkung ist eine für jedes Haar von bestimmter Länge, Dicke und Steifheit hinreichend constante Grösse, um derartige Haare zur Feststellung des an einer eng umschriebenen Hautstelle eben noch wahrnehmbaren kleinsten Druckes zu verwenden. Soweit nun scheint mir v. Frey's Methode durchaus zweckmässig zur Sensibilitätsprüfung. Nicht zutreffend aber scheint mir die Art, wie v. Frey absolute und relative Zahlenwerthe für die Sensibilität der verschiedenen Körperstellen gewinnen will.

Die Sensibilität einer Hautstelle bestimmt sich nach demjenigen Reizhaare, welches auf ihr eben noch Empfindung auszulösen vermag, und zwar nach dem Drucke, den dieses Haar ausübt. Die Frage ist nun: soll man den maximalen Gesammtdruck des Haares, d. h. diejenige Kraft, welche das Haar ausübt, wenn es ad maximum, d. h. bis es sich durchbiegt, aufgedrückt wird, als bestimmend für seine physiologische Wirkung ansehen, oder soll man diesen Kraftwerth erst durch den Querschnitt der auf die Haut aufgedrückten Endfläche des Haares dividiren, mit anderen Worten, den Druck auf die Flächeneinheit berechnen?

v. Frey entscheidet sich für das letztere, jedoch, wie ich im Folgenden zu zeigen hoffe, nicht mit Recht. Ich halte es für richtiger, die Zahlenwerthe für die Empfindlichkeit der einzelnen Körperstellen durch das auszudrücken, was v. Frey als die „Kraft" des Haares bezeichnet, d. h. die Kraft, welche nöthig ist, um das Haar durchzubiegen[1]).

Die Begründung sehe ich darin, dass bei Application auf die

---

1) Diese Kraft kann auch als der Biegungswiderstand des Haares bezeichnet werden, wenn sie auch, genau genommen, um einen sehr kleinen Werth grösser ist, als der wahre Biegungswiderstand. Die Kraft, die das Haar biegt, muss den Biegungswiderstand gerade überwinden. Practisch können diese Werthe gleichgesetzt werden.

Drückt man die Empfindlichkeit einer Hautstelle durch die Kraft des schwächsten an dieser Stelle als drückend empfundenen Reizhaares aus, so ist natürlich das Verhältniss der Sensibilitätswerthe verschiedener Hautstellen das umgekehrte, wie das der eben noch wirksamen Kräfte, mit anderen Worten, eine Hautstelle ist um so empfindlicher, je grösser der kleinste eben noch wahrnehmbare Reiz ist.

relativ dicke menschliche Haut die Reizung selbst mit dem dicksten Haare schon als eine punktförmige anzusehen ist, die Querschnittsdifferenzen also nicht nur vernachlässigt werden können, sondern müssen.

Die Berechnungsweise v. Frey's wäre am Platze, wenn erstens das Reizhaar direkt auf diejenige Gewebsschicht aufgesetzt werden könnte, welche die Nervenendorgane enthält, und wenn zweitens der Querschnitt eines Haares gross wäre im Verhältniss zu dem Empfindungskreise einer einzelnen Nervenendigung. Das umgekehrte ist aber der Fall.

Zur Entscheidung darüber, ob v. Frey's oder meine Anschauung die zutreffende ist, sind drei Versuche nothwendig. Es ist herzustellen und auf die physiologische Wirksamkeit zu prüfen

1) ein Paar von Haaren von gleicher Druckwirkung auf die Flächeneinheit, deren eines einen um ebenso viel grösseren Querschnitt hat, wie seine Druckkraft grösser ist;

2) ein Paar von Haaren von gleicher Druckkraft, aber ungleichem Querschnitte, daher auch ungleichem Drucke auf die Flächeneinheit;

3) ein Paar von Haaren von gleichem Querschnitt, aber ungleicher Druckkraft.

Den ersten entscheidendsten Versuch liefert uns merkwürdiger Weise v. Frey selbst, und zwar mit einem Resultate, welches für seine Anschauung durchaus ungünstig ist. Er schreibt (a. o. O. S. 189): „2 Haare von bezw. 90 und 440 mgr Widerstand bei bezw. 34 und 163 $mm^2 \cdot 10^{-4}$ Querschnittsfläche üben fast genau den gleichen Druck aus (26 und 28 gr/mm^2), denn das fünffach steifere Haar hat auch einen fast fünffach grösseren Querschnitt. Auf den rothen Lippensaum aufgesetzt werden aber die beiden Haare nicht gleich, sondern das steifere stärker empfunden."

Ich kann hinzufügen, dass dies nicht nur für den Lippensaum, sondern für die ganze Haut gilt, und auch bei kleineren Differenzen des Querschnittes noch zutrifft, z. B. für zwei Haare von 0,0346 bezw. 0,0137 mm^2 Querschnitt, 1,45 bezw. 0,57 gr Biegungswiderstand, somit 41,9 bezw. 41,6 gr/mm^2 Druck.

Hieraus geht hervor, dass nicht der Druck des Haares auf die Flächeneinheit es ist, welcher dessen Wirkungsgrösse bestimmt.

Nun der zweite Versuch. Ich stellte mir zwei Reizhaare von gleicher Steifheit (gleicher Druckkraft) auf folgende Art her, die,

wenn es sich, wie hier, nicht um Feststellung der absoluten Kraft eines Haares handelt, sondern nur darum, zwei Haare von gleichem Biegungswiderstande herzustellen, der umständlichen Verwendung der Waage vorzuziehen ist und mindestens ebenso genaue Resultate liefert. Ich befestigte einen schmalen Cartonstreifen (etwa 10 cm lang, $^1/_2$ cm breit) in einer Klammer so, dass er horizontal herausstand und sein freies Ende vor einer vertikalen Skala sich auf- und abbewegen konnte. Ich setzte dann das erste Reizhaar, dem ich ein zweites gleich machen wollte, senkrecht auf den Cartonstreifen auf und suchte diesen so niederzudrücken, dass sich sein freies Ende um ein bestimmtes Maass, etwa einen Centimeter, senkte. Je steifer das Haar ist, desto näher dem Befestigungspunkte des Cartonstreifens kann ich es aufsetzen, ohne dass es sich bei der von ihm verlangten Leistung durchbiegt. Ich bezeichne auf dem Streifen die Stelle, wo das Haar sich biegt. Es ist nun leicht, ein zweites (dickeres) Haar durch Veränderung seiner Länge (da der Biegungswiderstand eines Haares eine Funktion des spezifischen Biegungswiderstandes und der Länge ist) so herzurichten, dass es an der gleichen Stelle des Cartonstreifens durch dessen Widerstand gebogen wird. Man hat dann zwei Haare von gleicher Kraft, aber ungleichem Querschnitte. Dasselbe erreicht man auch, wenn man zwei gleich lange Stücke eines und desselben Haares nimmt und das eine derselben an seinem Ende mit einem Siegellackknöpfchen versieht, das auf einer Glasplatte platt gedrückt wird, wodurch bei gleichbleibender Kraft der wirksame Querschnitt bedeutend vergrössert wird.

Derartig hergerichtete Haare werden, trotz des ungleichen Druckes auf die Flächeneinheit, als gleich stark drückend empfunden[1]). Es ist entweder überhaupt nicht möglich, einen Unterschied in der Wirkung wahrzunehmen, oder es wird regellos bald das eine, bald das andere als stärker drückend bezeichnet. Man braucht aber nur die Steifheit des einen

1) Ich habe auch die Umkehrung dieses Versuches ausgeführt: Ich stellte zwei Haare von unbekanntem Biegungswiderstande her, und justirte ihre Länge mittelst der Sensibilität meiner Haut (es wurde stets ein und derselbe auf der Haut bezeichnete Punkt berührt) so, dass ich sie als gleich stark drückend empfand. Mittelst des oben angegebenen Verfahrens auf ihren Biegungswiderstand untersucht, zeigten die beiden Haare denselben auch objectiv fast genau gleich.

Haares ein wenig zu verändern, indem man es um einige Millimeter verkürzt oder mit einem erhärtenden Firniss überzieht, und sogleich wird es mit Sicherheit als das stärker drückende erkannt.

Der Ausfall des dritten oben erwähnten Versuches ist hiernach selbstverständlich. Zwei ungleich lange Stücke eines und desselben Haares, oder zwei gleich lange Stücke, deren eines mit Ausnahme der Spitze überfirnisst ist, werden, trotz ihres gleichen Querschnittes, vom Gefühl unterschieden. Ich brauche wohl kaum hinzuzufügen, dass ich mich stets mittelst des Mikroskopes überzeugt habe, dass die Endflächen der verwendeten Reizhaare gleich gestaltet, d. h. glatt abgeschnitten waren.

Während man nach dem ersten Versuche noch einigermassen im Zweifel sein konnte, ob die stärkere physiologische Wirkung des einen der beiden Reizhaare auf dessen grösserer Steifheit oder dem grösserem Querschnitte beruhte, zeigen die zwei weiteren Versuche, dass die Kraft (der Gesammtdruck, die Steifheit oder der Biegungswiderstand) und nicht der auf die Querschnittseinheit berechnete Druck es ist, der die Reizwirkung des einzelnen Reizhaares bestimmt.

Unter Umständen beeinflusst allerdings auch die Querschnittsgrösse die physiologische Wirkung des aufgedrückten Haares, aber in anderem Sinne, als v. Frey meint. Sie beeinflusst nämlich nicht die Intensität der Empfindung, sondern deren Qualität. Ein dünnes und dabei hinreichend steifes Haar oder ein feiner Draht erzeugt oft eine andere Empfindung, als ein dickeres Haar von der gleichen Druckkraft, nämlich eine stechende Empfindung, bezw. einen Schmerz, während das Haar mit grösserem Querschnitt nur eine Druckempfindung auslöst. Auf der eigentlichen Haut ist dies nur an besonders empfindlichen Stellen und bei recht steifen Haaren der Fall, dagegen ist es die Regel an der Conjunctiva, welche, wie in der vorhergehenden Abhandlung näher ausgeführt ist, das senkrechte Aufsetzen eines feinen Haares sehr leicht als Schmerz empfindet. Es kann daher durch passende Wahl der Dicke und Steifheit ein Paar von Haaren mit gleichem Drucke auf der Flächeneinheit hergestellt werden, von denen das dickere, steifere auf der Haut, das dünnere, obgleich weniger steife, auf der Conjunctiva den stärkeren Eindruck hervorbringt. Dies gilt z. B. für das oben erwähnte Paar von Haaren (1,45 bezw. 0,57 gr Druck-

kraft, 0,0346 bezw. 0,0137 mm^2 Querschnitt), deren zweites die Conjunctiva schmerzhafter sticht als das erste.

Aus der Thatsache, dass nur die Conjunctiva und die allerempfindlichsten Hautstellen entsprechend der Berechnung v. Frey's den gleichen Druck unter Umständen stärker empfinden, wenn er auf eine kleinere Fläche sich vertheilt, lässt sich auch der Grund ableiten, warum auf der Haut im Allgemeinen das Gegentheil zutrifft. Es ist die im Verhältniss zum ausgeübten Drucke grosse Widerstandsfähigkeit und Starrheit der Haut, welche bedingt, dass die Flächengrösse, auf welche sich der Druck eines Reizhaares vertheilt, vernachlässigt werden muss. Die Haut, speziell die Epidermis, wirkt als ein Polster, welches den Druck vertheilt, innerhalb gewisser Grenzen unabhängig davon, ob die direkt gedrückte Stelle etwas grösser oder kleiner ist[1]).

Hätten wir eine Haut, wie viele niedere Thiere, ein zartes einschichtiges Epithel, in welchem die Nervenendigungen, dicht bei einander stehend, zwischen den Epithelzellen bis an die Oberfläche vordringen, dann wäre v. Frey's Rechnung wenigstens näherungsweise zutreffend; dann würde der Querschnitt der berührenden Endfläche des Haares in Betracht kommen, weil in solchem Falle der Druck die Nervenendigungen fast direkt trifft.

---

1) Eine zwischen die aufgesetzte Haarspitze und die Nervenendigung eingeschobene Platte von den Eigenschaften der Haut, halb elastisch, halb starr, theils auch teigig nachgiebig, wirkt so, dass man sich an Stelle der drückenden Haarspitze einen die nervenhaltige Schicht direkt berührenden idealen drückenden Körper gesetzt denken kann, der einen um so grösseren wirksamen idealen Querschnitt hat, je mehr die Haut die Eigenschaften einer straff gespannten Membran hat. Daher wird, bei gleichbleibender Kraft des Haares, die physiologische Reizwirkung auf die Nervenendigungen um so geringer ausfallen, je grösseren Widerstand die Haut dem Haare bietet.

Der Irrthum v. Frey's beruht darin, dass er nicht bedachte, dass die mechanischen Eigenschaften der Haut auf die Gestaltung dieses idealen drückenden Körpers einen weit grösseren Einfluss haben, als der Querschnitt des Haares. Das Experiment lehrt, dass diese Gestaltung sogar ausschliesslich eine Funktion der Kraft des Haares und der mechanischen Eigenschaften der Haut ist, nicht aber der Dicke des Haares.

Von dem absoluten Drucke würde auf eine einzelne Nervenendigung ein um so geringerer Bruchtheil kommen, je grösser die gedrückte Fläche ist. In der menschlichen Haut dagegen liegen die Nervenendigungen in einer Tiefe unter der verhornten Epidermis, welche die Druckwirkung des Reizhaares wesentlich modificiren muss. Der eng umschriebene Druck, den das Haar auf die Epidermis ausübt, pflanzt sich ja nicht einfach gradlinig in die Tiefe der Haut fort, sondern breitet sich nach allen Seiten aus. Die Haut wird, wie man sofort sieht, in einem Umfange eingedrückt und somit auch gezerrt, gegen welchen der vom Haare direkt berührte Fleck sehr klein ist.

Ein Bild wird dies klarer machen. Es ist so, als ob man auf die Tasten eines Klavieres ein dickes Polster legt, und nun auf dieses einen Druck ausübt; ob man auf das Polster mit einer Stricknadel oder mit einem Finger drückt, oder unter dem gleichen Kraftaufwande mit mehreren neben einander gelegten Fingern, ist bei genügender Dicke des Polsters ohne Einfluss auf die Zahl der Tasten, welche durch das Polster hindurch niedergedrückt werden. Massgebend ist nur die Kraft, mit welcher auf das Polster gedrückt wird, bei starkem Drucke werden viele, bei schwachem wenige Tasten angeschlagen werden. Eine einzelne Taste anzuschlagen, gelingt durch ein dickes Polster hindurch nie, der Druck breitet sich vielmehr stets nach den Seiten aus.

Der extreme Fall der Polsterwirkung ist der, dass man ein starres Brett auf die ganze Klaviatur legt, und auf dieses drückt. Alsdann werden sämmtliche Tasten niedergedrückt, gleichviel ob man mit einem Finger oder der ganzen Hand drückt, gleichviel ob man ein Gewicht von 1 kgr auf die Mitte des Brettes wirken lässt, oder 1000 einzelne Gramm auf demselben gleichmässig vertheilt. Diesen Fall haben wir näherungsweise an den Fingernägeln und Hautschwielen verwirklicht, bei welchen es fast ohne Einfluss auf die zu Stande kommende Empfindung ist, ob man einen Druck mit einer (stumpfen) Nadel ausübt, oder den gleichen Druck flächenhaft einwirken lässt.

In entsprechend reducirtem Massstabe ist dies nun auch auf die nicht schwielige Haut zu übertragen. Die Haut des ganzen Körpers ist dick und starr genug, um die geringen Querschnittdifferenzen der einzelnen Reizhaare irrelevant zu machen.

Doch kehren wir noch einmal zu dem Bilde der Klaviatur

zurück. Ist das Polster von derselben weggenommen (der Fall der Sinnesepithelien niederer Thiere und der menschlichen Hornhaut) oder nur durch ein dünnes Tuch ersetzt (Fall der Conjunctiva und anderer zarten Haut- und Schleimhautpartien), so ist, neben der Kraft des niederdrückenden Fingers auch dessen drückende Fläche von Einfluss auf den Erfolg; der mit der Spitze aufgesetzte Finger trifft nur eine Taste, der Länge nach aber auf die Klaviatur gelegt, drückt er fünf bis sechs nieder. Im ersten Falle vereinigt sich alle Kraft auf einer Taste, und der Anschlag wird hart, der erzeugte Ton wird schrill und laut, im zweiten Falle vertheilt sich die gleiche Kraft auf mehrere Tasten, die einzelnen Töne werden sanfter und weicher erklingen. Damit haben wir den Vergleich für den Stich, die umschriebene intensive Druckreizung weniger Nervenendigungen, und die diffuse, nicht stechende und nicht schmerzhafte Druckwirkung.

Wenn ich somit die Gültigkeit der von v. Frey mitgetheilten Zahlenwerthe für die Druckempfindlichkeit der einzelnen Hautstellen bestreiten muss, so möchte ich auf der anderen Seite betonen, dass seine Prüfungsmethode zur Gewinnung brauchbarer Resultate recht wohl geeignet ist. Gerade die Erkenntniss, dass die feine Abstufung der Druckreize mittelst der Reizhaare namentlich dem Neuropathologen von grossem Werthe sein und die bisherigen, oft recht rohen Sensibilitätsprüfungen, auf einfache Weise zu verfeinern gestatten wird, hat mich veranlasst, das, was mir in v. Frey's Methode anfechtbar erscheint, hervorzuheben, und die Gesetze der Wirkung so kleiner Druckkräfte zu erörtern. Soll die Methode ihren vollen Werth haben, so muss die Berechnung auch wirklich richtig sein. Bei Berücksichtigung des oben Gesagten wird man finden, dass nicht nur die absoluten Zahlenwerthe v. Frey's etwa einer gleichmässigen Abänderung um einen bestimmten constanten Factor bedürfen, sondern gerade das gegenseitige Verhältniss der einzelnen Zahlen ist unrichtig, d. h. nicht den wirklichen Sensibilitätsverhältnissen entsprechend[1]). Je dicker die verwendeten Reizhaare waren, um so mehr fällt die, wie ich gezeigt zu haben glaubte, nicht zulässige Division mit dem Querschnitt ins Gewicht. Ein Ersatz der v. Frey'schen, auf die Flä-

1) Diese Angabe ist nicht das Resultat theoretischer Raisonnements, sondern eingehender Experimentaluntersuchungen.

cheneinheit bezogenen Zahlen durch die minimalen wirksamen absoluten Druckkräfte wäre daher zu wünschen.

Das einfachste wäre, wenn Herr Professor v. Frey selbst die absoluten, nicht durch den Querschnitt dividirten Druckwerthe seiner in den einzelnen Fällen verwendeten Reizhaare mittheilte; im andern Falle erschiene eine erneute Durchprüfung zur Gewinnung vergleichbarer Sensibilitätswerthe unerlässlich.

Ich ziehe aus den mitgetheilten Versuchen folgenden Schluss: Die von v. Frey angegebene Methode der Prüfung des Drucksinnes mittelst der Application kleinster wahrnehmbarer Druckreize durch senkrecht aufgedrückte „Reizhaare" von bekanntem Biegungswiderstande ist nur unter der Bedingung zur Feststellung absoluter und relativer Zahlenwerthe für die Empfindlichkeit der verschiedenen Hautregionen anzuwenden, dass nicht der auf die Flächeneinheit berechnete **Druck**, sondern die in Grammen ausgedrückte zum Biegen der einzelnen Reizhaare erforderliche **Kraft** zur Bestimmung des Reizwerthes benützt wird.

Ueber Galvanotaxis.

Von

Dr. rer. nat. et med. **Willibald A. Nagel,**
Assistent am physiologischen Institut in Tübingen.

Durch die Entdeckung Hermann's[1]), dass Froschlarven und Fischembryonen sich activ in die Richtung eines galvanischen Stromes einzustellen pflegen, ist der Elektrophysiologie ein neues Gebiet erschlossen worden, in welchem alsbald von verschiedenen Seiten weitere interessante Thatsachen aufgedeckt wurden. Wohl die wichtigste und merkwürdigste derselben war die Beobachtung

---

1) L. Hermann, Eine Wirkung galvanischer Ströme auf Organismen. Dieses Archiv. Bd. 37. S. 457.

M. Verworn's[1]), dass Protisten (Amoeben, Flagellaten, Ciliaten, Bacterien) sich in die Stromesrichtung einstellen und eine der beiden Elektroden fliehen, die andere aufsuchen. Vor allem bemerkenswerth, aber noch gänzlich unerklärt ist dabei die Thatsache, dass, während einige Protistenarten sich mit dem Vorderende der Kathode zuwendeten und auf diese zueilten, manche andere Arten sich gerade entgegengesetzt verhielten.

Hermann hatte unter Galvanotropismus zunächst nur die Einstellung der Körperlängsachse in die Richtung des Stromes verstanden, Verworn erweiterte diesen Begriff, indem er ihn auch auf die von ihm zuerst beobachtete active Locomotion gegen eine der beiden Elektroden ausdehnte. Eine Erklärung für das Zustandekommen galvanotropischer Erscheinungen an Einzelzellen überhaupt gab Verworn dadurch, dass er dieselben auf polare Erregungen zurückführte, und diesen Zusammenhang auch experimentell nachwies. Zugleich bestätigte er für viele Fälle das Vorkommen der von Kühne[2]) zuerst bei Actinosphaerium gefundenen Anodenschliessungs- und Kathodenöffnungserregung.

Es folgte sodann meine Mittheilung[3]) über galvanotropische Einstellung und Locomotion bei kleinen Krebsen (Copepoden), welche, wie Hermann's Froschlarven und Fische sich mit dem Kopfe gegen die Anode stellten, also im Sinne der von Verworn vorgeschlagenen Bezeichnungsweise positiv galvanotropisch waren.

Zugleich bemerkte ich, dass Wasserschnecken (Limnaeus stagnalis, Planorbis corneus und marginatus) ihre Fühler und den Kopf mit seinen empfindlichen Mundlappen beim Stromschluss zurückzogen, wenn dieselben der Anode zugewendet waren, also derjenigen Elektrode, welcher die Krebschen gerade zueilten. Die Kathode stiess bei Schliessung schwacher Ströme die empfindlichen Theile der Schnecken nicht ab, wohl aber bei Oeffnung. Deutliche

1) M. Verworn, Die polare Erregung der Protisten durch den galvanischen Strom. Dieses Archiv Bd. 45, S. 1 und Bd. 46, S. 267.

2) W. Kühne, Untersuchungen über das Protoplasma und seine Contractilität.

3) Wilibald Nagel, Beobachtungen über das Verhalten einiger wirbelloser Thiere gegen galvanische und faradische Reizung. Dieses Archiv. Bd. 51. S. 624.

galvanotropische Einstellung der Schnecken konnte ich damals nicht nachweisen, doch lag die Vermuthung nahe, dass eine solche vorkommen werde und dann die entgegengesetzte wie diejenige der Copepoden sein werde, d. h. eine negativ galvanotropische. Andererseits war zu erwarten, dass, wenn man grössere Krebse in ähnlicher Weise auf das Vorhandensein von Schliessungs- und Oeffnungsreiz untersuchen würde, wie dies bei den Wasserschnecken geschehen war, sie sich in Beziehung auf diese polare Reizung umgekehrt wie letztere verhalten würden.

Dies konnte ich bald darauf an Pagurus striatus bestätigen[1]), welcher bei Stromschluss vor der Kathode zurückzuckte, nicht vor der Anode.

Eine Anzahl Meeresschnecken verhielten sich wie die Süsswasserschnecken, insofern die Anodenschliessungserregung weitaus am stärksten war. Doch trat bei ihnen bei verhältnissmässig schwachen Strömen auch schon eine Kathodenschliessungserregung auf. Aehnliches beobachtete ich bei Mantelthieren (Ciona intestinalis) und Tintenfischen (Schaeurgus tetracirrhus). Bei Anneliden war ein merklicher Unterschied zwischen der Wirkung beider Elektroden nicht vorhanden (Halla partenopeia, Dasybranchus caducus).

Die ausführlichste und reichhaltigste Arbeit über Galvanotropismus lieferten sodann Blasius und Schweizer[2]). Diese Forscher, welche sehr starke Stromquellen zur Verfügung hatten, wiesen positiv galvanotropische Einstellung bei zahlreichen Fischarten und einigen anderen Wirbelthieren nach, mittelst Versuchen, auf welche ich unten noch zurückkomme. Positiven Galvanotropismus bestätigten sie ferner bei Krebsen (sie verwendeten Astacus fluviatilis) und fanden ebensolchen bei einem Wasserkäfer (Dytiscus marginalis). Bei einem anderen Wasserkäfer (Hydrophilus piceus) beobachteten sie dagegen negativen Galvanotropismus, den sie auch bei einigen Würmern (Hirudo, Lumbricus) angedeutet fanden.

Bei etlichen anderen Thieren (Wasserschnecken, Cucumarien etc.) erhielten Blasius und Schweizer keine klaren Resultate.

Die neuesten Arbeiten auf diesem Gebiete sind diejenigen von

1) Wilibald Nagel, Fortgesetzte Beobachtungen über polare galvanische Reizung bei Wasserthieren. Dieses Archiv. Bd. 53. S. 332.

2) E. Blasius und F. Schweizer, Ueber Electrotropismus und verwandte Erscheinungen. Dieses Archiv. Bd. 53. S. 493.

R. Ewald[1]), welcher gewisse von Hermann's Ergebnissen abweichende Erscheinungen bei Froschlarven auffand, ferner die von Hermann und Matthias[2]), welche bestimmt ist, den Zusammenhang zwischen den Befunden Hermann's und Ewald's festzustellen, und endlich eine neue Mittheilung von Ewald[3]), welche den gleichen Zweck verfolgt. Auf diese Arbeiten einzugehen, werde ich unten noch Gelegenheit haben.

Neuerdings habe ich nun die Untersuchungen wieder aufgenommen und speziell den Galvanotropismus niederer Thiere genauer geprüft. Der hauptsächlichste Zweck der vorliegenden Abhandlung ist es, darauf hinzuweisen, dass der Galvanotropismus jedenfalls eines Theiles der wirbellosen Thiere etwas wesentlich anderes ist als derjenige der Wirbelthiere, und dass zur Erklärung der beobachteten Erscheinungen bei den Schnecken und Würmern nicht die gleichen Vorgänge herangezogen werden dürfen, welche den Galvanotropismus der Fisch- und Froschlarven ausreichend erklären. Es scheint mir durch meine neueren Versuche an Mollusken und Anneliden in die bisher ziemlich zusammenhanglos dastehenden Beobachtungen mehr Klarheit zu kommen, so dass eine Erklärung der galvanotropischen Richtungsbewegungen niederer Thiere, d. h. eine Zurückführung derselben auf allgemeinere Gesetze möglich erscheint. Freilich harren hierin noch manche wichtige Fragen der Aufklärung.

Ein paar Worte seien hier über die verwendete Nomenclatur gesagt. Ich spreche in der Ueberschrift und dem weiteren Verlaufe meiner Mittheilung von Galvanotaxis, und benütze diese Bezeichnung statt der bisher von Physiologen verwendeten Ausdrücke Galvanotropismus und Electrotropismus. Ich folge damit dem Beispiele von Curt Herbst, welcher in seiner kürzlich veröffentlichten werthvollen Schrift[4]) über die Richtungsreize, dem

1) R. Ewald, Ueber die Wirkung des galvanischen Stromes bei der Längsdurchströmung ganzer Wirbelthiere. Dieses Archiv. Bd. 55. S. 606.

2) L. Hermann und Fr. Matthias, Der Galvanotropismus der Larven von Rana temporaria und der Fische. Dieses Archiv. Bd. 57. S. 391.

3) R. Ewald, Ueber die Wirkung des galvanischen Stromes bei der Längsdurchströmung ganzer Wirbelthiere. Zweite Mittheilung. Dieses Archiv. Bd. 59. S. 258.

4) Curt Herbst, Ueber die Bedeutung der Reizphysiologie für die kausale Auffassung von Vorgängen in der thierischen Ontogenese. Biolog. Centr.-Bl. XIV. Bd. 1894.

Sprachgebrauche der meisten Botaniker folgend, von Galvanotaxis Heliotaxis, Geotaxis etc. spricht, wenn es sich um die Richtung eines freibeweglichen Organismus handelt, von Galvanotropismus, Heliotropismus, Geotropismus aber nur bei der Richtung wachsender Organe durch einen äusseren Reiz. Da die Richtungsreize zuerst und am ausführlichsten von der Pflanzenphysiologie berücksichtigt und untersucht worden sind, ist es nicht mehr als billig, sich ihrem Sprachgebrauche anzuschliessen, um so mehr, wenn er, wie in diesem Falle, eine so wichtige und zutreffende Unterscheidung macht. Ein Zusammenarbeiten der Pflanzenphysiologie und Thierphysiologie, die Grundlage für eine „vergleichende Physiologie", ist von unschätzbarem Vortheil für beide Wissenschaften; eine übereinstimmende Nomenclatur ist zwar nur eine Aeusserlichkeit, deren Werth aber nicht unterschätzt werden darf.

Eine Bewegung gegen die Anode, den positiven Pol hin, bezeichne ich, im Anschlusse an die Botaniker und Verworn als eine positive galvanotactische, die umgekehrte als eine negativ galvanotactische. Zuweilen spreche ich auch abkürzend von einer positiven oder negativen Einstellung, wobei das Wort galvanotactisch zu ergänzen ist. Für den gleichen Begriff kommen ab und zu die gleichen Bezeichnungen von Hermann: antidrom und homodrom zur Verwendung, jedoch nur mit Beziehung auf die Locomotion und Einstellung des Thieres. Ausdrücke, wie „homodromes Schlängeln" (eines abgeschnittenen, zur Locomotion und galvanotactischen Einstellung nicht mehr befähigten Schwanzes), „homodromer Strom", „homodrome Dauererregung", wie sie von Hermann und Matthias verwendet werden, sollten doch lieber vermeiden werden.

Fische und Amphibien.

Wenn ich soeben sagte, die Galvanotaxis der niederen Thiere sei anders zu erklären, als diejenige der höheren Thiere, so denke ich bezüglich der letzteren zunächst an die Fische, und sehe das wesentliche und bestimmende an den galvanotactischen Erscheinungen bei diesen Thieren in der Beeinflussung des Centralnervensystems durch den galvanischen Strom. Ich schliesse mich somit den Anschauungen von Hermann und Blasius und Schweizer in der Hauptsache an, deren Ergebnisse ich, soweit es hier in

Betracht kommt, bezüglich des Goldfisches (Carassius auratus), mit dem ich allein experimentirte, bestätigen kann.

Ich brachte einen kleinen Goldfisch in einen rechteckigen Glastrog, dessen Endflächen durch viereckige Kupferelektroden von je etwa 20 cm^2 Fläche eingenommen waren. Dieselben standen etwa 10 cm von einander ab. Liess ich den Strom von 8 bis 10 (schon längere Zeit gebrauchten) kleinen Chromsäureelementen durch diesen Apparat fliessen, so zeigte ein in den Kreis eingeschaltetes Galvanometer 4—5 Milliampères an. Ausserdem war ein Compressionsrheostat nach der Angabe von Blasius und Schweizer eingeschaltet, ein für diese Versuche sehr zweckmässiges und für einen Theil derselben unerlässliches Instrument, bezüglich dessen Einrichtung ich auf die Arbeit der genannten Forscher verweisen muss.

Befand sich der Fisch in der Lage, dass sich die Anode hinter dem Schwanze, die Kathode vor dem Kopfe befand („aufsteigender Strom"), so erzeugte, ganz wie Blasius und Schweizer angeben, der Stromschluss wie auch der andauernde galvanische Strom zunächst heftige Unruhe des Fisches, bei stärkeren Strömen Zittern und Erschütterung des ganzen Thieres, verbunden mit lebhaften Athembewegungen; der Fisch schnellte sich solange umher, bis er sich gedreht und somit in den absteigenden Strom eingestellt hatte. Dann trat momentan Beruhigung ein.

Wurde der Strom gleich von vornherein absteigend eingeleitet, so traten die heftigen Reizungen und Aufregungen gewöhnlich nicht ein, und bei ganz allmählichem Einschleichen des Stromes mittelst des Compressionsrheostaten konnte der Fisch ohne jegliche Reizungserscheinung sofort in die „Galvanonarkose" übergeführt werden, er wurde ruhig, fast bewegungslos, verdrehte die Augen und sank auf die Seite.

Durch ebenso allmähliches Unterbrechen des Stromes gelang es auch leicht, den Goldfisch in die von Blasius und Schweizer sogenannte „Hypnose" überzuführen, in welcher er sich äusserlich wie in der Narkose verhält, durch den geringsten Reiz aber zu Reflexbewegungen und völligem Erwachen zu bewegen ist.

Was aus den Versuchen von Hermann an Froschlarven und Fischembryonen sowie von Blasius und Schweizer an Fischen

als hauptsächlichstes Resultat hervorgeht, das ist die Thatsache, dass ein im Centralnervensystem absteigender Strom beruhigend und lähmend, ein aufsteigender erregend und krampferzeugend auf dasselbe einwirkt.

Der naheliegende Gedanke, diese Erscheinungen als einen speziellen Fall des Pflüger'schen Erregungsgesetzes zu betrachten, indem man sich das Centralnervensystem in einen anelektrotonischen Abschnitt mit herabgesetzter Erregbarkeit und einen katelektrotonischen Abschnitt mit erhöhter Erregbarkeit zerlegt denkt ist von Hermann nicht ausgesprochen worden und wird jetzt, nachdem er von Blasius und Schweizer ausgesprochen ist, von Hermann und Matthias als anfechtbar bezeichnet. Ich kann diesen Zweifel nicht unbedingt theilen, finde vielmehr den Erklärungsversuch von Blasius und Schweizer recht annehmbar, während ich die von Hermann und Matthias erhobenen Bedenken nicht für entscheidend halten kann. Es durfte freilich nicht von vornherein angenommen werden, dass sich ein ganzes Rückenmark sammt dem Gehirn in Beziehung auf die Vertheilung der Erregbarkeit im elektrotonischen Zustande ähnlich verhalte, wie ein freipräparirter Nerv. Aber gerade die Versuchsergebnisse von Hermann, sowie von Blasius und Schweizer und Ewald zeigen, dass diese Annahme eine gewisse Berechtigung besitzt, dass physikalische und physiologische Elektrode im Centralnervensystem der Fische und Froschlarven zusammenfallen, was Hermann und Matthias bezweifeln. Schwerer wiegt der andere Einwand, den diese Autoren machen, und der sich darauf gründet, dass geköpfte Froschlarven, ja selbst abgeschnittene Schwänze noch „Galvanotropismus zeigen". Abgesehen davon, dass man Bewegung des Schwanzes im aufsteigenden, Ruhe im absteigenden Strome doch wohl nicht Galvanotropismus nennen kann, ist diese, von Hermann aufgefundene Thatsache mit der Hypothese von Blasius und Schweizer zunächst nicht leicht in Einklang zu bringen. Das im Rückenmark der Froschlarven jedenfalls vorhandene Centrum für die schlängelnden Schwanzbewegungen befindet sich, wie aus dem Durchschneidungsversuch hervorgeht, im Schwanzmarke. Bei homodromer Lage des unverletzten Thieres muss es demnach im anelektrotonischen Theile des Markes liegen, somit unerregt bleiben. Im abgeschnittenen und ebenfalls homodrom liegenden Schwanze aber müsste es im katelektrotonischen

Abschnitte liegen, es erscheint also unverständlich, warum auch der abgeschnittene Schwanz in antidromer Lage ruhig liegt, in homodromer Lage schlängelt. Eine Erklärung hierfür dürfte aber doch dadurch möglich sein, dass wahrscheinlich jenes Centrum der Schwanzbewegung sehr weit unten im Marke liegt, und in den Fällen, wo der Schwanz im aufsteigenden Strome sich bewegte, das Schwanzmark nicht unmittelbar über dem Centrum durchtrennt wurde, sondern ein Stück weiter oben. Das im Schwanze enthaltene Markstück könnte dann immer noch in zwei verschieden erregbare Abschnitte zerfallen, und das Centrum der Schwanzbewegung im katelektrotonischen Theile liegen. Die Erregung des Schwanzes durch den aufsteigenden Strom würde in diesem Falle erst dann ausbleiben, wenn der Schnitt ganz nahe, dicht oberhalb seines Bewegungscentrums geführt wird. Hinfällig würde die Hypothese von Blasius und Schweizer, wenn auch in diesem Falle noch der Schwanz seine schlängelnden Bewegungen ausführte. Der experimentelle Nachweis hierfür dürfte freilich schwer sein. Natürlich ist nicht ausgeschlossen, dass neben der Elektrotonisirung des Centralnervensystems noch andere Factoren, die wir vorläufig nicht übersehen, zum Zustandekommen der Galvanotaxis mitwirken.

Es kann nicht überraschen, dass die Galvanotaxis bei Fischen und Froschlarven so viel deutlicher ausgeprägt ist, als beispielsweise bei ausgewachsenen Fröschen oder bei Tritonen. Der Hauptunterschied liegt, wie ich glaube, in dem Verhalten der peripheren Nerven in beiden Fällen. Bei den ersteren Thieren fehlen die Extremitäten oder sind nur in primitivster Anlage vorhanden, dementsprechend fehlt es an langen motorischen Nerven. Die vorhandenen motorischen Nerven sind kurz und verlaufen annähernd quer zur Längsachse des Körpers, werden also bei Längsdurchströmung des Thieres relativ wenig erregt werden. Der einzige lange und starke Nerv der Fische, welcher longitudinal verläuft, ist der Seitennerv, der Ramus lateralis vagi. Derselbe ist aber, wie ich mich an Barbus und Leuciscus wiederholt überzeugt habe, gegen Reizung auffallend unempfindlich, seine elektrische Reizung, wie auch seine Durchschneidung habe ich weder von Zuckung noch sonstiger Reflexbewegung begleitet gesehen. Würde aber seine Längsdurchströmung auch stärker wirken, so würde, da er

ein centripetaler Nerv ist, die in ihm erzeugte Erregung beim aufsteigenden Strome nur die Aufregung des Fisches erhöhen, also in gleichem Sinne wirken, wie die Durchströmung des Centralnervensystems. Seine Erregung durch den absteigenden Strom aber würde, da der Nerv aus dem Nachhirn entspringt, in ein anelektrotonisch narkotisirtes Centralorgan einlaufen, also, wie diejenige der anderen Hirnnerven, von geringer Wirkung sein.

Ganz anders bei den Fröschen; auf ein kurzes Centralnervensystem kommen hier sehr lange kräftige gemischte Nerven, die Ischiadici. Schon die Stromschliessung muss daher eine kräftigere Zuckung auslösen, als bei den Fischen.

Jede Bewegung des Frosches aber, jeder Versuch, sich galvanotactisch einzustellen, ist mit einer bedeutenden Stellungsveränderung der Hinterbeine verknüpft, der Ischiadicus wird bald längs bald quer zum Strome gestellt, wobei die Intensität der den Nerven durchfliessenden Stromcomponente beträchtlich wechseln und dieser daher nun immer erneute Reizung erfahren muss. In gleicher Weise werden die Muskeln beeinflusst werden. Mit jeder Schwankung der Intensität des den Schenkel durchfliessenden Stromes, ob derselbe aufsteigend oder absteigend verläuft, ist eine energische Streckung des Beines verbunden. Der Frosch aber erzeugt diese Schwankungen durch seine Bewegungsversuche selbst und setzt sich dadurch so starken Reizen aus, dass sich die Galvanotaxis, zu welcher der elektrotonische Zustand des Centralnervensystems an sich wohl auch hier führen würde, nicht frei entfalten kann. Wir haben daher so übersichtliche Erfolge der galvanischen Durchströmung, wie sie bei den fischförmigen Thieren auftreten, nicht zu erwarten. Dem entspricht der thatsächliche Befund.

Gasteropoden.

Gehen wir weiter zur näheren Betrachtung der galvanotactischen Erscheinungen bei den wirbellosen Thieren, und suchen insbesondere die Vergleichungspunkte zwischen diesen und den im bisherigen besprochenen galvanotactischen Reaktionen der niederen Wirbelthiere auf, so wird es zunächst zweckmässig sein, von den Wirbellosen die Insekten und Krebse bei Seite zu lassen, da diese besonderer anatomischer und physiolo-

gischer Verhältnisse wegen einer gesonderten Besprechung bedürfen. Es bleiben also Mollusken und Würmer übrig, da bei Echinodermen und Coelenteraten von galvanotactischen Eigenschaften nichts bekannt ist, und mit meiner vereinzelten Beobachtung an einem Vertreter der Tunicaten (Ciona) nicht viel anzufangen ist.

Die Mollusken und Würmer haben einige gemeinsame Eigenschaften, welche für die vorliegende Frage von Wichtigkeit sind und diese Thierklassen von den Arthropoden einerseits und den Wirbelthieren andererseits trennen. Sie besitzen an Stelle der harten, meistens vom Wasser nicht benetzbaren Haut der Insekten und Krebse eine meist weiche, schleimige Haut[1]), welche folglich den galvanischen Strom weit besser leitet, als die Chitinhülle der ersteren. Von den Wirbelthieren unterscheiden sie sich durch ihren weit grösseren Reichthum an Nervenendigungen, welche in der bekanntlich einschichtigen Epidermis liegen, und somit in die Grenzschicht zwischen Thierkörper und umgebendem Wasser hineinfallen. Solche Nervenendapparate besitzen die höheren Wirbelthiere nur in den Sinnesepithelien des Geruchs und Geschmackes, die Amphibien wenigstens noch in den „Seitenorganen" oder „Nervenhügeln", manche Fische ausser in diesen noch in den „Endknospen" oder „becherförmigen Sinnesorganen" der Haut. Ein so dichtes Durchsetztsein des Epithels mit Nervenendigungen, wie man sie in der Haut der Schnecken und Würmer beobachtet, kommt bei Wirbelthieren nicht vor. Für die folgenden Ueberlegungen dürfte dies nicht ohne Bedeutung sein.

Was an einer Wasserschnecke im Gegensatze zu jedem Wasserwirbelthiere zunächst als auffallendstes Symptom der Beeinflussung durch den galvanischen Strom in die Augen fällt, das ist die Thatsache, dass (bei ziemlich schwachen Strömen) die Reizung eine unipolare ist, d. h. dass Reizerscheinungen nur auf der einen Seite des Körpers, welche der einen der beiden Elektroden zugekehrt ist, auftreten. Bei Schliessung des Stromes pflegt diese Reizung stärker zu erscheinen, als während der Dauer des Stromes, bei Oeffnung dann auf der entgegengesetzten Seite zu erfolgen.

1) Diese Bemerkungen beziehen sich natürlich nur auf die bestimmten Arten, von denen unten speziell die Rede ist; ich bin mir wohl bewusst, dass der derbe hornartige Hautüberzug mancher Mollusken und Würmer besondere Versuchsbedingungen schaffen muss.

Während bei den Wirbelthieren, speziell den Fischen und Batrachierlarven, die galvanotactische Einstellung auf der Beeinflussung des Centralnervensystems, der erregenden Wirkung des aufsteigenden, der beruhigenden des absteigenden Stromes, beruht, ist das massgebende für die galvanotactischen Erscheinungen an Schnecken (und theilweise auch an Würmern) die einseitige polare Dauererregung der Hautsinnesorgane, bezw. der zu diesen gehörigen centripetalleitenden Nerven.

Auch die Galvanotaxis der Protisten ist auf einseitige polare Reizung zurückzuführen und gerade bei ihnen konnten diese Vorgänge am besten studirt werden. Kühne[1]) war, wie oben erwähnt, der erste, der beobachtete, dass das zu den Heliozoen gehörige Actinosphaerium Eichhornii auf der der Anode zugewendeten Seite seine langen strahlenförmigen Protoplasmafortsätze einzog, auf der Kathodenseite dagegen keine Spur von Reizung zeigte.

Verworn[2]) hat ähnliches bei zahlreichen anderen Protisten beobachtet und die Versuche noch in der Weise erweitert, dass er höhere Stromstärken einwirken liess, wobei er in Folge des anodischen Reizes das Protoplasma unter seinen Augen degeneriren sah[3]). Hiermit war der entscheidende Beweis geliefert, dass diejenigen Protisten, welche von der Anode weg zur Kathode sich bewegen, hierzu durch einen auf der Anodenseite einwirkenden abstossenden Reiz, nicht durch eine anziehende Wirkung der Kathode veranlasst werden.

Mit dem Verhalten dieser niedersten Geschöpfe in gewissem Sinne vergleichbar ist die Reaktion der Schnecken, vor allem der Süsswasserpulmonaten Limnaeus stagnalis, Planorbis corneus und

1) a. a. O.

2) a. a. O.

3) Wie angesichts dieser Thatsachen Hermann und Matthias bestreiten können, dass hier ein gegensätzliches Verhältniss zu den bekannten Gesetzen der Nervenerregung vorliege, verstehe ich nicht. Thatsächlich thun sie dies in den Worten (a. a. O. S. 405): „Wir sind auch weit entfernt, die Behauptungen über eine Umkehrung des Pflüger'schen Erregungsgesetzes für gewisse Objecte, für genügend bewiesen zu halten“.

marginatus. Auch bei ihnen ist bei mässiger Stromstärke die Reizung eine rein einseitige.

Da ich das Verhalten der Schnecken gegen polare Reizung schon früher beschrieben habe, kann ich mich hier kurz fassen.

Ich verfuhr früher bei diesen Versuchen in der Weise, dass ich, wie Hermann bei einem Theile seiner Versuche mit Froschlarven, die eine der Elektroden als indifferente Elektrode entfernt vom Thiere eintauchte, die differente Elektrode aber, einen dünnen Kupfer- oder Platindraht, möglichst nahe an den zu reizenden Theil des Thieres heranbrachte, ohne dieses indessen zu berühren. Dies geschah bei noch nicht geschlossenem Stromkreise. Wurde jetzt im metallischen Kreise der (schwache) Strom geschlossen, so zuckte die Schnecke jedesmal von der drahtförmigen Elektrode zurück, wenn diese Anode war, nicht aber, wenn sie Kathode war. Umgekehrt erhielt ich bei der eben beschriebenen Anordnung, wenn der Draht Anode war, keinerlei Oeffnungszuckung, dagegen sehr deutlich eine Kathodenöffnungszuckung, wenn der Strom gewendet worden war.

Neuerdings habe ich den Versuch oft in der Weise angestellt, dass ich die Schnecken in einen grossen rechteckigen Glastrog mit Wasser brachte, in welchem zwei sich gegenüberstehende Wände von Zinkplatten eingenommen waren. Wurden diese mit einer Stromquelle in Verbindung gebracht, so war die gesammte Wassermenge von parallelen Stromfäden durchzogen. Kriecht in diesem Behälter eine Schnecke annähernd quer zur Verbindungslinie der Elektroden, so lässt es sich schon bei ganz schwachem Strome leicht beobachten, wie im Momente des Stromschlusses auf der der Anode zugewendeten Seite der Fühler sich plötzlich verkürzt und der lappenartige Mundsaum (Oberlippe) sich runzelig zusammenzieht. Das Gleiche, nur dem Grade nach etwas schwächer, beobachtet man bei Unterbrechung des Stromes auf der anderen Seite, Kathodenöffnungserregung.

Bemerkenswerth ist, dass diese Reaktion kaum weniger deutlich auftritt, wenn man, statt den Strom mittelst eines Quecksilberschlüssels zu schliessen und zu öffnen, hierzu das v. Kries'sche Federrheonom verwendet, welches bekanntlich in sehr einfacher und bequemer Weise gestattet, den Strom von der Intensität 0 bis zu einer beliebigen, durch die Stärke der verwendeten Electricitäts-

quelle[1]) bestimmten Höhe mit regulirbarer Geschwindigkeit ansteigen zu lassen. Der Curve, welche das Ansteigen der Stromstärke graphisch darstellt, kann also eine beliebige Steilheit gegeben werden; dabei steigt sie übrigens geradlinig an, die Stromstärke nimmt gleichmässig zu.

Selbst wenn ich dieses Instrument auf langsamstes Ansteigen des Stromes einstellte, und den beweglichen Contact in bekannter Weise mittelst der Feder abschoss, genügte diese geringe Steilheit des Anstiegs, um kräftige Contraction auf der Anodenseite der von diesem Strome getroffenen Schnecke auszulösen. Sogar die Oeffnungserregung trat (auf der Kathodenseite) ein, wenn ich den beweglichen Contact mit der Hand rasch rückwärts drehte. Es genügt also auch ein relativ sehr langsames Nachlassen der Stromintensität, um die Kathodenerregung auszulösen. Ein Froschnervenpräparat reagirt bekanntlich nicht durch Zuckung, wenn der Anstieg und Abfall der Stromstärke durch das Rheonom in der beschriebenen Weise verlangsamt wird.

Auf die weitere Analyse der Erregungsvorgänge bei der Schnecke, wobei das Rheonom wiederum gute Dienste leistet, komme ich unten zurück, und will hier nur noch bemerken, dass es, wie zu erwarten, zur Erzeugung der Kathodenerregung (die an sich immer die schwächere ist), einer rascheren Bewegung des Rheonoms bedarf, als zur Anodenschliessungserregung.

Während die bisher erwähnten Versuche sich fast gleich gut an Limnaeus und den Planorbiden zeigen lassen, gelingen die folgenden, welche die Existenz einer wirklichen Galvanotaxis bei Schnecken nachweisen, weitaus am besten an Limnaeus und zwar unter diesen wieder am besten an jungen, etwa 1 cm langen Thieren. Zwei Centimeter lange Thiere reagiren schon etwas weniger gut, und ausgewachsene Exemplare reagiren gewöhnlich nur in der Weise, dass sie sich in ihre Schale zurückziehen.

Mit etwa 20 Stück dieser kleinen Schnecken habe ich wiederholt den folgenden Versuch, stets mit gleichem Erfolge, angestellt. In einem flachen Glastroge wurden die Thiere gleichmässig vertheilt, wobei darauf gesehen wurde, dass sie möglichst weit von einander entfernt lagen, damit sie sich nicht so bald in einer für

---

1) Ich verwendete zu diesen Versuchen 6 Meidinger Ballonelemente der gewöhnlichen Grösse.

die Versuche störenden Weise zu mehreren zu einem Klumpen zusammenballen können. Nach einiger Zeit beginnt die Mehrzahl der Schnecken umherzukriechen, wenige bleiben in den Schalen zurückgezogen. Diese letzteren bleiben im Folgenden unberücksichtigt. Alsdann wurde ein schwacher Strom (2 bis 3 Meidingerelemente) geschlossen, dessen Stromfäden, durch Zinkplatten zugeführt, das Wasser parallel durchzogen. Im Moment des Stromschlusses erfolgt die erwähnte Anodenerregung, welche indessen in wenigen Sekunden wieder nachlässt; die meisten Schnecken ziehen gleichzeitig ihre Schalen etwas weiter über den Körper herüber. Sofort aber macht sich jetzt (während der Strom andauernd geschlossen bleibt) die Tendenz bemerkbar, den Kopf von der Anode weg und zur Kathode hin zu wenden. Nach 20 bis 30 Sekunden pflegt die Mehrzahl der Schnecken schon die Einstellung des Kopfes ausgeführt zu haben. Als eine Durchschnittszahl aus mehreren Versuchen kann ich angeben, dass ich von 15 Limnaeen, die umherkrochen und unmittelbar vor der Stromschliessung alle senkrecht zur Verbindungslinie der Elektroden gestellt worden waren, nach einer halben Minute 11 mit dem Kopfe gegen die Kathode gewendet fand; nach einer weiteren halben Minute hatten diese elf Schnecken die vollständige Wendung des Körpers ausgeführt. Die übrigen vier waren, wie es nicht selten vorkommt, bei Stromschluss in der Weise erregt worden, dass sie die Sohle vom Boden lösten und daher umfielen, die Schalenmündung nach oben gekehrt. Die Thiere liegen dann, sich unruhig windend, längere Zeit da, ohne eine galvanotactische Einstellung gewinnen zu können.

Die einzelnen Individuen zeigten beträchtliche Verschiedenheiten in der Art der Reaktion. So waren es z. B. einzelne bestimmte Exemplare, welche besonders häufig in der letzt beschriebenen Art reagirten. Unter denjenigen, welche sich prompt galvanotactisch einstellten, zeichnete sich wiederum etwa die Hälfte dadurch aus, dass sie, sowie sie die Einstellung erreicht hatten, lebhaft auf die Kathode zuzukriechen begannen, übrigens in etwas abnormer Weise, indem sie nach jedem grösseren „Schritt" immer die Schale mit einem plötzlichen Ruck nach vorne zogen. Der Kopf wird, so lange der Strom geschlossen ist, stets weniger weit unter der Schale hervorgestreckt, als im nicht gereizten Zustande. Zu bemerken ist ferner, dass die Achseneinstellung der Schnecke mit Beziehung auf die Achse des eigentlichen Weichkörpers, speziell

die Längsachse der Sohle erfolgt, mit welcher die Achse der Schale (Modiolus) bekanntlich einen spitzen Winkel bildet (zwischen 20° und 40° bei ruhigem Dahinkriechen). Die Schalenachse sämmtlicher galvanotactisch eingestellter Schnecken weicht somit um eben diese Winkelgrösse von der Stromesrichtung ab.

Wenn ich oben erwähnte, dass die Limnaeen vor Einleiten des galvanischen Stromes quer zu dessen Richtung gestellt wurden, so ist hinzuzufügen, dass dies nicht nöthig ist, um die galvanotactische Einstellung überhaupt zu erzielen. Diese erhält man, wie auch die Stellung der Thiere gegen die Stromesrichtung war. Jene gleichförmige Orientirung aller gleichzeitig verwendeten Thiere in einer Mittelstellung war nur nothwendig, um den Reizerfolg zahlenmässig ausdrücken zu können, was bei einer dem Zufall überlassenen Orientirung der Schnecken nur nach einer sehr grossen Zahl von Versuchen möglich wäre.

Interessant ist die Erscheinung, die man bei plötzlichem Umkehren der Stromesrichtung beobachtet. Sämmtliche Schnecken, die nicht in die Schale zurückgezogen sind, machen in diesem Augenblicke eine Bewegung, welche sich am deutlichsten an der Schale zeigt; während die schon galvanotactisch eingestellten Thiere hauptsächlich dadurch reagiren, dass sie ihren Körper heftig zurückziehen, werfen die noch annähernd quer stehenden Thiere in charakteristischer Weise die Schalen etwas nach der anderen Seite, und zwar alle in gleichem Sinne. Besonders deutlich ist dies bei den hoch in die Höhe stehenden platt-scheibenförmigen Schalen der Planorbisarten, welche bei jedem Stromschluss und Stromwechsel etwas nach der Seite der Anode überfallen.

Es liegt nahe, sich hierbei an die Schwindelerscheinungen bei galvanischer Durchströmung des Ohrlabyrinthes beim Menschen und höheren Thieren zu erinnern, wobei bekanntlich ebenfalls ein Umfallen nach der Anodenseite die Regel ist. Doch ist bei der Reaktion der Schnecken an Gleichgewichtsstörungen kaum zu denken, sondern die Schwankung der Schale beruht einfach auf einer einseitigen Contraction der Muskulatur. Es wäre zwar nicht unmöglich, dass die Galvanisirung der als Hörorgane (Otocysten) gedeuteten, vielleicht theilweise oder ausschliesslich dem Gleichgewichtssinne dienenden bläschenförmigen Sinnesorgane der Schnecken ebenfalls dem Schwindel entsprechende Sensationen auslösen könnte, doch ist hierfür ein Anhaltspunkt nicht gegeben.

Es darf wohl als zweifellos bezeichnet werden, dass zwischen den beiden soeben mitgetheilten Erscheinungen, der Anodenschliessungserregung und der negativen Galvanotaxis ein direkter Zusammenhang besteht, indem die erstere die Ursache der letzteren ist. *Die unangenehmen Sensationen, welche auf der der Anode zugekehrten Seite in der Haut des Thieres offenbar entstehen, veranlassen dasselbe, seinen empfindlichsten Theil, den Kopf, von der Anode weg und der nicht reizenden Kathode zuzuwenden, und, wenn überhaupt, dann in der Richtung auf die Kathode zu, zu kriechen.*

Für die Annahme, dass in ähnlicher Weise wie bei den Wirbelthieren (Fischen) eine etwaige Einwirkung auf das Centralnervensystem die alleinige oder hauptsächliche Ursache der galvanotactischen Einstellung sei, liegt nicht der geringste Anhaltspunkt vor. Namentlich ist von einer Beruhigung durch die eine, einer Erregung durch die andere Stromesrichtung nichts zu merken. Der Mangel eines strangförmig in der Körperlängsrichtung angeordneten Centralnervensystems, welches vielmehr durch mehrere zu einem rundlichen Haufen verschmolzene Ganglien repräsentirt ist, dürfte hierfür von Bedeutung sein.

Ich habe früher nachgewiesen [1], dass die polare galvanische Reizung durchaus nicht am ganzen Körper der Wasserschnecken, sondern nur an bestimmten Stellen derselben Reaktion zur Folge hat, während andere auf mässige elektrische Reize nicht durch Bewegung antworten. Die empfindlichsten Theile sind die Mundlappen, die Fühler und überhaupt die besonders reich mit Hautsinnesorganen ausgestatteten vorderen Partien des Kopfes. Geringere, aber immer noch deutliche Empfindlichkeit zeigt der ganze Rand des Fusses bis zu dessen hinterstem Ende. Fast unempfindlich dagegen ist der der Schale von innen anliegende Mantel, sogar dessen Rand (der viele Nervenendigungen enthält) und die ganze übrige Haut.

Ferner habe ich ebenfalls schon früher darauf hingewiesen, dass die für elektrische Reize empfindlichen Theile in auffallender Weise übereinstimmen mit den Stellen grösster Empfindlichkeit für chemische Reize, und zwar chemischer Reize von so unschäd-

1) Dieses Archiv. Bd. 51. S. 626.

licher Art, dass man geneigt sein möchte, das Wahrnehmen derselben als „Schmecken“ zu bezeichnen. Es handelt sich also hierbei nicht etwa um Säuren, Alkalien u. dergl., sondern die erwähnte Lokalisirung des Schmeckvermögens der Haut wurde gewöhnlich mit unschädlichen Bitterstoffen, wie neutralem Chininsulfat oder mit Saccharin, vorgenommen. Die Reaktion auf diese chemischen Reize ist derjenigen auf den galvanischen Reiz fast gleich, d. h. die dadurch getroffenen Theile, Fühler, Mundlappen, Fussrand, werden zusammen- und zurückgezogen.

Es erscheint nach dem Gesagten der Schluss wohl berechtigt, dass die beschriebenen galvanotactischen Reaktionen der Schnecken auf dem sog. elektrischen Geschmacke beruhen, d. h. dass die offenbar unangenehmen Sensationen, welche die Thiere veranlassen, sich von der Anode abzuwenden, durch elektrische Reizung der Geschmacksorgane zu Stande kommen, eine Annahme, die ich freilich nicht ohne sofortige Hinzufügung gewisser einschränkender Zusätze hinstellen möchte.

Zunächst ist zu bemerken, dass ich, wenn ich von elektrischer Erregung der Geschmacksorgane rede, damit nicht die Anschauung verbinde, dass die Elektricität als solche geeignet sein müsse, als Reiz für die Geschmacksorgane zu functioniren, sondern annehme, dass dies wahrscheinlich nur auf dem Umwege durch elektrolytische Processe an oder in den Nervenendorganen zu erklären ist. Da ich ferner die Hautsinnesorgane in den Fühlern und den sonstigen empfindlichen Theilen der Schnecken nicht als *specifische* Geschmacksorgane, sondern als *Wechselsinnesorgane* mehrerer, vielleicht aller vier Primitivsinne[1]), betrachte, soll damit, dass ich ihre Reizung mit dem Phänomen des elektrischen Geschmackes beim Menschen vergleiche, nicht gesagt sein, dass die galvanische Reizung bei den Schnecken nun nothwendig gerade die gleiche Empfindung erzeugen müsse, wie vielleicht eine Säure oder ein Alkali. Es ist nicht unmöglich, dass

---

1) Die vier Primitivsinne definire ich nach der Art des Reizes als mechanischen, chemischen, thermischen und photoskioptischen (Licht- Schatten-) Sinn. Vergl. meine diesbezüglichen Ausführungen in meinen „Vergleichend physiologischen und anatomischen Untersuchungen über den Geruchs- und Geschmackssinn und ihre Organe“, etc. Bibliotheca zoologica von *Leuckart* und *Chun*. Heft 18. Stuttgart (E. Naegele) 1894.

die Empfindung einen unbestimmteren Charakter hat, wie ja überhaupt die Sinneswahrnehmungen aus den Gebieten der einzelnen Sinne bei den niederen Thieren weniger scharf geschieden sein werden, als beim Menschen mit seinen specifischen Sinnesorganen. Das nur wird mit grosser Wahrscheinlichkeit anzunehmen sein, dass, wie in der menschlichen Zunge, der elektrische Reiz sich durch Energieverwandlung in einen chemischen umsetzt.

In dieser Hinsicht ist auch die Thatsache nicht ohne Interesse, dass, während auf der menschlichen Haut ein dieselbe durchfliessender galvanischer Strom eine entschieden stärkere Empfindung an der Kathode erzeugt, als an der Anode, bezüglich der elektrischen Geschmacksempfindung das Verhältniss bekanntlich umgekehrt ist. Der Anodengeschmack ist stärker als der Kathodengeschmack. Am deutlichsten zeigt sich dies, wenn man die Elektroden auf die beiden Wangen aufsetzt. Der saure Anodengeschmack überwiegt dann bedeutend über den schwer definirbaren Geschmack an der Kathode. Auch wenn man eine Elektrode an die Zunge, die andere als indifferente Elektrode an eine entfernte Körperstelle anlegt, ist der elektrische Geschmack deutlicher und stärker, wenn die differente Elektrode an der Zunge Anode, als wenn sie Kathode ist.

Dieses von dem der Hautnerven abweichende Verhalten der Geschmacksorgane macht die bei den Schnecken beobachteten Erscheinungen weniger auffallend und erweckt den Gedanken, dass die zwischen den beiden Reihen von Erscheinungen bestehende Uebereinstimmung keine zufällige sei, sondern darauf hindeute, dass auch die Anodenerregung der Schnecken der elektrischen Geschmackssinneserregung verwandt sei.

Beobachtet man das Verhalten der einem schwachen Strome ausgesetzten Limnaeen nur bei Stromschluss und Stromöffnung, so könnte man auf den Gedanken kommen, es gäbe nur eine Schliessungs- und Oeffnungserregung, keine Dauererregung, da die lokalen Reizungserscheinungen unmittelbar nach der Stromschliessung wieder verschwinden oder wenigstens stark nachlassen. In der That bestehen aber neben einander Schliessungs- (bezw. Oeffnungs-) Zuckung, und Dauererregung. Die erstere beruht wohl in der Hauptsache auf der Reizung der contractilen Gewebe, was hauptsächlich dadurch wahrscheinlich gemacht wird, dass auch ein verhältnissmässig sehr langsames Ansteigen und Abfallen der Strom-

stärke diese Contractionen auslöst. Nervenerregung, namentlich centripetaler Richtung, wird daneben nicht fehlen.

Dass aber auch eine Dauererregung besteht, ist zweifellos. Verwendet man, wie oben beschrieben, zur Schliessung des Stromes das v. Kries'sche Federrheonom zum allmählichen Einleiten des Stromes[1]), und dreht dessen beweglichen Contact ganz langsam, in kaum merklicher Bewegung vorwärts, so kann man das Auftreten sichtbarer Zuckungen und Contractionen auf der Anodenseite ganz vermeiden, und beobachtet trotzdem schon während des Einschleichens des Stromes, sowie auch, wenn man diesen auf einer bestimmten Höhe constant bleiben lässt, deutliche Galvanotaxis, d. h. die Schnecken wenden sich ganz allmählich von der Anode ab und der Kathode zu.

Ich glaube, dass wir in dem eben Mitgetheilten einen zweiten principiellen Unterschied zwischen den Erscheinungen von Galvanotaxis bei den Fischen und den Schnecken finden dürfen. Die Fische (und sonstigen Wirbelthiere, die Galvanotaxis zeigen) gelangen, wenn sie in beliebiger Lage durch einen Strom erregt werden und sich lebhaft umherbewegen, gewissermassen zufällig in die antidrome Einstellung[2]), und verbleiben dann in dieser, weil der jetzt beruhigend wirkende Strom diese Lage zu derjenigen macht, in welcher das Thier durch die gewiss auch hier nicht fehlenden Hautreize am wenigsten belästigt wird. Zugleich entwickelt sich bei genügend starkem Strome geradezu eine Bewegungsunfähigkeit des Thieres, welche dasselbe in der jetzigen Lage festbannt. Bei den Schnecken mit ihrer trägen Bewegung würde auf diese Weise Galvanotaxis nie zu Stande kommen können. Da ihnen die Möglichkeit des raschen Umwendens des Körpers abgeht, können sie auch nicht durch „Zufall“ in die möglichst reizlose Lage kommen und dann in dieser verharren. Bei ihnen besteht vielmehr ein dauernder Reiz, welcher ihren Kopf und Vorderkörper von der Anode wegtreibt. Daher probirt eine quer zur Stromrichtung krie-

1) Anfangs versuchte ich den gleichen Zweck mittelst des Compressionsrheostaten von Blasius und Schweizer zu erreichen, doch ist hier ein sprungweises Ansteigen der Stromstärke nicht zu vermeiden und man beobachtet fortwährend kleine Contractionen auf der Anodenseite.

2) Ich theile somit die Anschauung von Ewald, dass die Froschlarven und Fische die neue Lage gewissermassen „per exclusionem“ finden.

chende Schnecke niemals hin und her, nach welcher Seite hin sie geringeren Reizen ausgesetzt ist, sondern sie empfindet direkt eine Reizung auf der Anodenseite, und wendet sich daher von dieser ab.

Gewiss fehlen auch, wie schon angedeutet, bei den Wirbelthieren derartige Sinnesreize nicht, wenn wir auch keine deutlichen Zeichen von galvanotactischen Wirkungen derselben haben. Unter der Voraussetzung, dass die sensiblen Hautnerven auch der niederen Wirbelthiere dem gleichen Erregungsgesetze folgen, wie diejenigen des Menschen, d. h. also vorzugsweise eine Kathodendauererregung besitzen, würde die galvanotactische Wirkung des galvanischen Stromes auf dieselben (wenigstens die am Kopfe gelegenen) sich zur galvanotactischen Beeinflussung des Centralnervensystems addiren, beide Factoren würden zur Erzielung einer antidromen Einstellung zusammenwirken. Die Geschmacksorgane dieser Thiere werden, falls sie, wie wahrscheinlich, gleich denjenigen des Menschen durch eine überwiegende Anodenerregung ausgezeichnet sind, auf die homodrome Einstellung hinwirken. In gleichem Sinne müsste die Erregung der sensiblen Nervenendigungen am hinteren Körperende wirken.

Derartige im einzelnen natürlich noch nicht zu durchschauende Erregungsvorgänge mögen es sein, welche es bedingen, dass z. B. Goldfische, von einem absteigenden Strome plötzlich getroffen, fast regelmässig umkehren, obgleich doch die Einstellung im absteigenden Strome diejenige ist, in welcher sie schliesslich, nach mehrfachem Hin- und Herschnellen, zur Ruhe kommen. Die Sinnesreizung tritt momentan mit der Schliessung des Stromes ein, und sie veranlasst die Bewegung des Thieres, noch ehe die narkotisirende Wirkung des Stromes zur Geltung kommt, welche sich, wie man leicht sehen kann, erst allmählich entwickelt.

Auch die Beobachtung Ewald's einer scheinbaren negativen Galvanotaxis gehört hierher, sowie namentlich der Versuch, den Hermann und Matthias in Bestätigung der Angabe Ewald's ausführten, und der darin besteht, dass Froschlarven, von schwachen, zur Erzielung positiver Galvanotaxis noch nicht ausreichenden Strömen aufsteigend durchflossen, häufig auf die Kathode zu schwimmen, also negativ galvanotactisch erscheinen. Der Strom erzeugt eine Erhöhung der Gesammterregbarkeit, reizt gleichzeitig die Hautsinnesorgane, vielleicht vorzugsweise die am Schwanze,

und veranlasst dadurch eine Flucht in der Richtung gerade vorwärts, d. h. auf die Kathode zu.

Ich halte es auch für nicht unwahrscheinlich, dass die Erscheinungen, welche Ewald zur Annahme eines „Höhepunktes" im Centralnervensystem veranlassten, oberhalb und unterhalb dessen dasselbe ungleichen Erregungsgesetzen folgen soll, wenigstens zum Theil einfacher durch den Widerstreit der Stromeswirkung auf das Centralnervensystem und die Sinnesnerven zu erklären sind. Ich denke dabei namentlich an die Reizung der Organe des chemischen Sinnes, die Geschmacksorgane und die, wie ich glaube nachgewiesen zu haben [1]), mit Unrecht so genannten Geruchsorgane. Es ist jedenfalls beachtenswerth, dass gerade bei ganz schwachen Strömen, welche das Rückenmark und Gehirn noch wenig beeinflussen, Reaktionen zu Stande kommen, welche eine Annäherung an das Verhalten der wirbellosen Thiere zeigen, die negativ galvanotactisch werden, bei Strömen, die 10, ja bisweilen 100 mal schwächer sind, als die zur Erzielung der eigentlichen positiven Galvanotaxis der Fische nothwendigen.

Anneliden.

Mit der Absicht, weiter unten an die mitgetheilten Versuche an Wasserschnecken einige Bemerkungen über galvanotactische Erscheinungen bei Landschnecken anzuschliessen, gehe ich jetzt zunächst über zur Beschreibung der galvanotactischen Reaktionen einiger ebenfalls im Wasser untersuchter Würmer, von welchen ich bis jetzt 3 Arten, Hirudo, Lumbricus und Tubifex untersucht habe, alle drei zu den oligochäten Anneliden gehörig. Bei beiden ist die Galvanotaxis nicht so leicht zu demonstriren, wie bei jungen Wasserschnecken, wohl im Zusammenhange mit dem Umstande, dass die polaren Wirkungen der beiden Elektroden weit weniger verschieden sind, wie dort.

Brachte ich Regenwürmer, grosse oder kleine, einzeln oder in grösserer Zahl, in dasselbe flache, an zwei Seiten mit Zinkplatten armirte Glasgefäss, in welchem die Limnaeen sich so

---

1) Wilibald Nagel, Vergleichend physiologische und anatomische Untersuchungen über den Geruch- und Geschmackssinn und ihre Organe, etc. S. 49: III. Das Riechen im Wasser, und S. 183: Fische und Amphibien.

prompt in der Richtung der parallelen Stromfäden einstellten, und leitete einen schwachen oder starken Strom hindurch, so zeigten in beiden Fällen die Würmer wohl deutliche Empfindlichkeit und oft sehr lebhafte Reaktion auf den Strom, aber keine recht deutliche Galvanotaxis, und noch weniger eine galvanotactische Locomotion gegen eine der beiden Elektroden hin. So lange der Strom geschlossen ist, windet sich der Wurm unruhig hin und her, und wenn es mehrere Exemplare sind, entsteht ein wildes Durcheinander, aus dem nichts zu erschliessen ist. Man beobachtet, dass die Würmer bei Stromschluss zusammenzucken, wie sie auch gegen die Stromesrichtung orientirt sein mögen. Unter Umständen sieht man auch eine Oeffnungserregung von geringer Intensität.

Da die Regenwürmer, in Wasser gebracht, sich fast nie gerade strecken, sondern stets winden und krümmen, ist eine rein longitudinale Durchströmung des Körpers schwer zu erzielen. Der Strom verläuft in einem Theile des Körpers aufsteigend, im anderen absteigend, so dass eine übersichtliche Reaktion nicht zu Stande kommen kann. Bringt man aber einen Wurm (bei nicht geschlossenem Strome) möglichst in die Richtung der Verbindungslinie der beiden Elektroden, und schliesst nun rasch, ehe das Thier seine Stellung allzusehr verändern konnte, einen schwachen Strom, so beobachtet man ein stärkeres Zurückzucken des Kopfes, wenn der Strom absteigend verläuft, als wenn er umgekehrt fliesst, mit anderen Worten, die Anodenerregung am Kopfe ist stärker als die Kathodenerregung. Doch ist der Unterschied nicht sehr bedeutend. Man sieht zugleich, dass nicht das Kopfende allein es ist, welches erregt wird, sondern der ganze Körper und namentlich auch das Hinterende zuckt zusammen, und da für letzteres die gleichen Reizungsgesetze gelten, wie für das Kopfende, sieht man bei aufsteigendem Strome unter dem Einfluss der Anodenwirkung das Hinterende stärker zucken, als das Vorderende. Da nun sowohl die Anodenerregung wie die Kathodenerregung während der ganzen Dauer des Stromes anhält, ist es leicht begreiflich, dass die Regenwürmer sich nicht ohne weiteres in einer bestimmten Weise gegen den Strom einstellen. Der Kopf muss die Tendenz haben, sich von der Anode weg und der Kathode zuzuwenden; in dem Augenblick aber, wo die entsprechende Wendung ausgeführt wird, kommt das ebenfalls sehr empfindliche Hinterende gegen die Anode hin zu liegen, wird stärker als bisher gereizt und zuckt heftig zurück.

Daraus resultirt ein stetes unruhiges Hin- und Herwälzen des Wurmes. Da bei der Schnecke die Empfindlichkeit des Kopfes ausserordentlich viel höher ist, als diejenige des Hinterendes, kommt bei ihr dieser die galvanotactische Einstellung hindernde Umstand nicht in Betracht. Dazu kommt ein weiterer oben schon angedeuteter Unterschied zwischen Würmern und Schnecken: bei den letzteren tritt eine Kathodenschliessung- und Dauererregung erst bei verhältnissmässig starken Strömen auf, die Anodenerregung ist weit stärker als jene; bei den Würmern ist der Unterschied zwischen Anoden- und Kathodenerregung gering. Wenn daher eine Schnecke ihren Kopf der Kathode zugewendet hat, beobachtet man an ihm kein Merkmal irgend welcher Reizung, so lange der Strom nicht sehr stark ist. Bei den Würmern ist auch der der Kathode zugewendete Kopf heftiger Reizung ausgesetzt. Die Hauptbedingung für das Zustandekommen deutlicher galvanotactischer Einstellung, dass es nämlich für das Thier eine bestimmte Orientirung gegen die Stromesrichtung gibt, in welcher es viel weniger als in allen anderen gereizt wird, ist bei den Würmern in sehr unvollkommenem Masse erfüllt, in sehr vollkommenem Masse bei den Schnecken.

Durch zweckmässige Versuchsanordnung gelingt es nun aber, trotz der genannten der Galvanotaxis hinderlichen Umstände, doch auch beim Regenwurme, die Bevorzugung einer bestimmten Einstellung nachzuweisen, indem man ihm nur die Wahl zwischen zweierlei Einstellungen lässt, dadurch dass man ihn in ein enges Rohr sperrt. Nach längerem Probiren fand ich folgende Anordnung für den Versuch geeignet: Eine Glasröhre von 17 cm Länge und 0,9 cm Weite wurde, nachdem sie mit destillirtem Wasser gefüllt und ein lebhafter nicht unter 5 bis 6 cm langer, 2 bis 3 mm dicker Regenwurm hineingesteckt war, an beiden Enden durch Korke verschlossen, welche von je einem blank geputzten Eisennagel mit einem das Lumen der Röhre nahezu ausfüllenden Kopfe durchbohrt waren. An diese Nägel waren aussen die Zuleitungsdrähte befestigt.

Wurde in diesen Apparat der Strom von 2 bis 3 kleinen Chromsäure-Elementen oder von 3 bis 4 Meidinger-Elementen hineingeleitet, so zuckte bei jedem Stromschluss der Wurm zusammen, gleichviel an welchem Ende sich die Anode befand. Bei länger dauerndem absteigendem Strome zeigte sich bald noch eine

weitere Erscheinung. Der sich unruhig windende Wurm wendete den Kopf, wohl zufällig, nach rückwärts, und mochte hierbei bemerken, dass jetzt wenigstens das Vorderende seines Körpers geringeren Reizen ausgesetzt war, als in der bisherigen Lage. Alsbald zog er den übrigen Körper in dieser Richtung nach, und hatte sich damit in kürzester Frist umgewendet und in den aufsteigenden Strom, homodrom, eingestellt. Umkehrung der Stromesrichtung liess dasselbe Schauspiel sich wiederholen, besonders sicher dann, wenn die Wendung des ganzen Körpers noch nicht vollständig ausgeführt war. So kann man durch wiederholtes Wenden des Stromes den Wurm wie auf Kommando hin- und hertreiben.

Lässt man den Strom längere Zeit geschlossen, so pflegt der Wurm langsam auf die Kathode zuzukriechen. Er zeigt dabei immer noch deutliche Erregung, jedoch ist diese ersichtlich weit geringer als beim Kriechen gegen den Strom, welch letzteres übrigens nie lange dauert; namentlich kommt der Wurm gegen die Anode hin so gut wie gar nicht vorwärts. Er wendet sich entweder bald um, oder er krümmt und windet sich, ohne vorwärts zu kommen.

Der Versuch gelingt nicht mit allen Regenwürmern, namentlich mit sehr grossen Exemplaren schwieriger als mit solchen von der angegebenen Länge. Bemerkenswerth ist, dass der Regenwurm in gewissem Sinne l e r n e n kann, wie er sich der unangenehmen Wirkung des galvanischen Stromes zu entziehen vermag. Am Anfange des Versuches scheint es ziemlich vom Zufall abzuhängen, ob der Wurm unter dem Einflusse des Stromes einmal den Kopf rückwärts dreht, wobei er sofort die günstige Wirkung dieser Bewegung verspürt. Es kann daher lange dauern, bis er diese Bewegung ausführt, ja manche besonders erregbare Exemplare werden durch den Strom in der Art gereizt, dass sie sich in zwecklosen wilden Bewegungen erschöpfen, aber nie versuchen umzukehren. Hat aber ein Wurm einmal oder einigemale sich durch Umkehren in den ihm weniger unangenehmen aufsteigenden Strom eingestellt, so darf man sicher sein, dass er jetzt bei jeder erneuten Wendung des Stromes sich dieses einfachen Mittels bedient. Je öfter man den Versuch macht, desto prompter kehrt der Regenwurm bei Stromschluss um, abgesehen natürlich von der allmählich eintretenden Erschöpfung durch die Reizungen. Der Regenwurm vermag also in gewissem Sinne zu lernen, wie er sich am zweckmässigsten ver-

halte. Die Wirkung dieser Einübung erstreckt sich auf Stunden. Ich konnte im Tübinger medicinisch-naturwissenschaftlichen Verein Abends Regenwürmer zeigen, welche ich Nachmittags auf den Versuch „eingeübt“ hatte, und welche Abends gleich beim ersten Stromschlusse umkehrten, was sie zuvor nicht gethan hatten. Bei frisch aus der Erde genommenen Thieren bedurfte es immer erst einiger Minuten, bis sie in der engen Glasröhre umkehren gelernt hatten.

Ganz ähnliches beobachtet man bei Goldfischen, wo es allerdings schon weniger auffallend ist. Auch sie stellen sich anfangs lange nicht so leicht in den absteigenden Strom wie später, wenn sie den Versuch öfters durchgemacht und das Mittel kennen gelernt haben, sich der unangenehmen Reizwirkung durch eine einfache Drehung des Körpers zu entziehen.

Der Blutegel zeigt wie der Regenwurm sowohl eine Anoden- als eine Kathodenschliessungs- und Dauererregung. Nur ist der Intensitätsunterschied zwischen beiden, zu Gunsten der ersteren, beim Egel noch geringer als beim Regenwurm, und ausserordentlich viel geringer als bei der Wasserschnecke. Dementsprechend ist die Galvanotaxis — wie in jenen beiden Fällen eine negative — hier sehr wenig deutlich ausgeprägt. Verhältnissmässig deutlicher sind die Resultate bei etwas decrepiden Individuen, weil kräftige frische Exemplare unter dem Einflusse des Stromes zu wild durch's Wasser fahren. Wenn diese Thiere, einem genügend starken Strome ausgesetzt, sich aalartig im Wasser umherschlängeln, beobachtet man allerdings gewöhnlich, dass sie schliesslich nur noch in der einen Richtung, gegen die Kathode hin, schwimmen, an welche sie bei diesen Schwimmbewegungen fortwährend anstossen. Doch gelingt dieser Versuch überhaupt nur bei sehr lebhaften Exemplaren und auch bei diesen nicht regelmässig; die galvanotactische Einstellung pflegt ausserdem gewöhnlich erst nach längerer Zeit, einer halben bis mehreren Minuten, zu Stande zu kommen.

Charakteristischer ist das Verhalten, welches man gewöhnlich beobachtet, wenn sich ein Egel mit Hilfe seiner hinteren Saugscheibe am Boden oder der Seitenwand seines Behälters festgesogen hat und man nun einen mässigen Strom (unter 1 Milliampère) einleitet. Alsbald pflegt dann der Kopf und mit ihm der ganze

Körper gegen die Kathode hingewendet zu werden. Lässt man den Strom in der gleichen Richtung andauernd geschlossen, so löst das Thier bald seinen Saugnapf ab und schwimmt zur Kathode. Wendet man aber, noch ehe dies eintritt, die Stromesrichtung, so pendelt der am Hinterende aufgehängte Wurm sogleich gegen die jetzt zur Kathode gewordene Elektrode hin. Durch wiederholtes Wenden des Stromes kann man so den Egel prompt hin und her pendeln lassen.

Manche, z. Th. merkwürdige Einzelheiten an der Reaktion der Blutegel, die sich bei diesen Versuchen zeigen, will ich hier übergehen, da sie erstens nicht constant auftreten, und zweitens ihre Deutung auf Schwierigkeiten stösst.

Der oben schon betonte Unterschied zwischen den Schnecken und Würmern in ihrem Verhalten gegen die beiden Elektroden, das starke Ueberwiegen der Anodenreizung bei den Schnecken, die mehr gleichmässige Wirkung beider Elektroden bei den Anneliden zeigt sich auch in folgendem Versuche in einer sehr hübschen und anschaulichen Weise.

Es ist ein bekanntes Experiment, dass, wenn man einen Blutegel auf eine blank geputzte Silbermünze setzt und diese auf ein Stück Zinkblech legt, der Egel nicht von der Münze herunterkriechen kann, da er in dem Augenblicke, wo er gleichzeitig mit seinem Kopfe das Zink, mit dem übrigen Körper das Silber berührt, einen elektrischen Stromkreis schliesst, in welchem er selbst als feuchter Leiter functionirt.

Noch besser gelingt der Versuch mit einem kleinen Regenwurm, wie ich ihn zuerst in den Vorlesungen von Herrn Professor Grützner habe anstellen sehen. Der Wurm wälzt sich erst eine Weile auf dem Silberstücke umher und versucht dann, den Kopf voran, hinabzukriechen. Kaum aber hat der Kopf das Zink berührt, so zuckt er blitzschnell zurück. Dieses Spiel, das bei lebhaften Würmern einen possierlichen Anblick gewährt, wiederholt sich lange, indem der Wurm immer wieder an anderen Stellen den Ausweg sucht. Schliesslich gelingt es ihm aber doch immer, hinabzukommen, und zwar gewöhnlich in der Weise, dass er, durch die elektrischen Reize heftig erregt, schnellende Bewegungen mit dem ganzen Körper macht, die ihn plötzlich ganz oder wenigstens mit

einem grossen Theile seines Leibes auf das Zink befördern, auf welchem er sodann ungestört weiterkriecht.

Zuweilen kriecht ein solcher Wurm auch rückwärts herunter. Das Hinterende wird zwar ebenfalls heftig gereizt und zuckt gewöhnlich stark zurück, doch gelingt es ihm eher, mit dem After als mit dem Kopfe voran auf's Zink hinabzuklettern.

Legt man statt der Silbermünze ein Platinblechstück auf die Zinkplatte, so ist wegen der grösseren Potentialdifferenz dieser beiden Metalle die Wirkung eine noch energischere.

Versucht das Thier auf das Zink hinabzukriechen und berührt dieses mit dem Kopfe, so muss hier offenbar Anodenerregung zu Stande kommen, da das Zink positiv gegen Silber und Platin sich verhält. Es musste nun interessant sein, den Versuch umzukehren und die Wirkung der Kathodenreizung in gleicher Weise zu untersuchen. Zu diesem Zwecke legte ich auf einen versilberten Teller eine kleine Zinkplatte und setzte auf diese den Wurm. Bei seinen Versuchen, hinabzukriechen, setzt er sich natürlich der Kathodenreizung am Kopfe aus. Wie zu erwarten, zuckt er auch in diesem Falle zurück, doch war sofort zu bemerken, dass der Reiz weniger stark war als bei umgekehrter Anordnung. Es gelingt dem Thiere daher auch schneller, von Zink auf Silber, als von Silber auf Zink zu kriechen. Es würde nicht schwer halten, durch passende Wahl der Metalle eine Combination von geringerer Potentialdifferenz zu finden, bei welcher der Wurm wohl noch vor dem elektropositiven Metall zurückschreckt, nicht aber vor dem negativen.

Viel ausgeprägter musste sich dieses Verhalten bei solchen Thieren zeigen, bei denen der Unterschied in der anodischen und der kathodischen Reizung grösser ist als bei den Würmern, nämlich bei den Schnecken.

Ich setzte daher auf die Silbermünze eine Gartenschnecke (Helix hortensis oder Helix arbustorum) und wartete ab, bis sie sich bemühte, die Münze zu verlassen, was bei den trägen Mollusken weit länger als bei den lebhaften Würmern zu dauern pflegt. So wie aber der ausgestreckte Kopf mit seinen Lippen oder dem unteren Fühlerpaare das positive Metall berührt, ist auch die Reizung sogleich eine ausserordentlich heftige, nicht selten so heftige, dass sich die Schnecke unter Ausstossung von schaumigem Schleime in ihre Schale verkriecht.

Bemerkenswerther Weise kriechen dagegen die Schnecken fast ohne jede Schwierigkeit von Zink auf Silber. Um nicht allzu lange warten zu müssen, setzte ich zu diesem Versuche die Schnecke auf die Zinkplatte und umgab sie rings mit blanken Silberstücken. Wenn sie dieselben mit den unteren Fühlern berührt, was beim Vorwärtskriechen regelmässig geschieht, zucken diese allerdings zurück, was indessen nicht Folge elektrischer, sondern mechanischer Reizung ist. Dasselbe geschieht daher bei Berührung mit Glas, überhaupt mit jedem festen Gegenstande.

Wenn die Lippen das Silber berühren, beobachtet man oft ein leichtes Zusammenfahren der Schnecke, welche dabei nicht selten die Schale mit einem plötzlichen Rucke nach vorne zieht; bei genauerem Zusehen sieht man indessen, dass diese Reizung, abgesehen von einzelnen besonders empfindlichen Exemplaren, welche auch die schwache Kathodenreizung empfinden, nicht am Kopfe, sondern an dem noch auf dem Zink befindlichen Theile der Fusssohle statt hat, somit Anodenreizung ist. Dass diese immerhin so verhältnissmässig schwach auftritt, hat wohl nicht darin allein seinen Grund, dass die Sohle thatsächlich weit weniger empfindlich ist als die reich innervirte Umgebung des Mundes, sondern es spielt hierbei wohl die ungleiche Stromdichte die Hauptrolle. Die Sohle liegt, wie auch der Körper des vom Zink auf Silber kriechenden Wurmes, dem positiven Metalle in breiter Fläche auf, so dass die Stromdichte eine geringe ist. Berührt aber das vom Silber auf's Zink kriechende Thier das letztere Metall, so ist die Stromdichte im Augenblicke des Contactes an dem berührenden Punkte eine hohe, und die Reizung ist eine starke, gleichviel an welchem Körpertheile sie stattfindet.

Die Mehrzahl der untersuchten Schnecken kroch sogar von Zink auf Platin fast anstandslos hinauf. Eine solche Platin- oder Silberplatte auf einer Zinkplatte functionirt geradezu als eine Schneckenfalle; die Thiere kriechen leicht auf sie hinauf, niemals aber wieder herunter.

Dehnte man diese Versuche auf andere Thiere mit feuchter Haut aus, so würden sich hierbei alle diejenigen Arten als empfindlich erweisen, welche bei der früher angegebenen Anordnung der Versuche — in Wasser zwischen zwei Elektroden gebracht — sich galvanotactisch gezeigt haben, und umgekehrt. Dieser Versuch ist

somit nur ein Spezialfall der Galvanotaxis, wenigstens soweit dieselbe auf sensibler Reizung beruht.

Der bekannte kleine Wurm Tubifex rivulorum, der sich im Schlammgrunde stehender Gewässer durch die anhaltenden schlängelnden Bewegungen seiner vorderen Körperhälfte bemerklich macht, ist ebenfalls galvanotactisch, und zwar in der gleichen Art wie der Regenwurm. Doch ist die Galvanotaxis bei ihm leichter nachzuweisen. Er wendet seinen Kopf prompt der Kathode zu und kriecht gegen diese hin. Bei starken Strömen wirft er sich wild umher.

Halbirt man den Wurm, so stellen sich beide Theile galvanotactisch ein, und zwar verhält sich das neu gebildete Vorderende des hinteren Abschnittes wie der Kopf, d. h. es wendet sich gegen die Kathode. Bemerkenswerther Weise geschieht diese Einstellung kaum weniger prompt als bei dem vorderen Körperabschnitte, der den Kopf enthält.

An der vorderen Körperhälfte beobachtete ich öfters eine Erscheinung, die auch am unzerschnittenen Wurm zuweilen angedeutet ist. Hatte sich nämlich dieses Theilstück bei nicht geschlossenem Strome ziemlich gerade gestreckt, und ich schloss nun einen schwachen aufsteigenden Strom, so blieb dasselbe plötzlich regungslos liegen, um erst bei Stromöffnung wieder weiterzukriechen. Dies ist also typische Galvanonarcose, aber bei umgekehrter Stromrichtung, als sie bei den Fischen nothwendig ist. Doch tritt diese Narcose nicht regelmässig ein.

Bei den beiden anderen Annelidengattungen habe ich Galvanonarcose nicht beobachtet.

Während die im bisherigen besprochenen galvanotactischen Reaktionen der Wirbelthiere einerseits, der Schnecken und Anneliden andererseits, bis zu einem gewissen Grade verständlich sind und für jede der beiden Thiergruppen eine einheitliche Betrachtung sich als möglich erwies, kann man dies von der Galvanotaxis der Arthropoden, insbesondere der Insekten, nicht behaupten. Hier ist noch vieles dunkel und weiterer Prüfung bedürftig. Auch meine Untersuchungen über die Galvanotaxis der Arthropoden sind bis jetzt nur fragmentarische, und wenn ich auch in einigen Punkten weiter gekommen zu sein glaube, als Blasius und Schweizer

in ihren, mehr nebensächlich behandelten Untersuchungen an Krebsen und Wasserkäfern, so bin ich doch weit davon entfernt, dieses Gebiet für genügend durchforscht zu halten. Vielmehr beabsichtige ich diese Untersuchungen weiterzuführen, sobald die günstigere Jahreszeit mir die Beschaffung mannigfaltigeren Materials gestattet. Einiges Interessante bieten übrigens auch schon die bis jetzt erzielten Resultate, die ich im Folgenden kurz mittheilen will.

Crustaceen.

Am Flusskrebs (Astacus fluviatilis) haben Blasius und Schweizer interessante Versuche angestellt, indem sie ihn starken Strömen aussetzten. Im absteigenden Strome blieb der Krebs ruhig liegen oder ging auf die Anode zu, im aufsteigenden wurde er heftig erregt und schwamm rasch rückwärts (also gegen die Anode hin). Wurde ein aufsteigender Strom allmählich eingeleitet, so drehte sich der Krebs um, bis er in die positive Einstellung kam, in welcher er verharrte oder sich langsam vorwärts bewegte.

Diese Versuche bestätigen somit mein an Pagurus striatus gefundenes Ergebniss; dieser Dekapode zuckte ebenfalls heftig zusammen und verschwand rückwärts in seiner Behausung (einer Schneckenschale), wenn ein aufsteigender Strom geschlossen wurde, d. h. wenn sich die Kathode vor seinem Kopfe, die Anode hinter dem Thiere befand.

Galvanotactische Einstellung durfte von dem Einsiedlerkrebs natürlich nicht erwartet werden. Um so deutlicher tritt diese bei manchen kleineren Krebsarten auf. Copepoden (verschiedene Arten von Cyclops) zeichnen sich dadurch vor allen anderen von mir daraufhin untersuchten Thieren aus, dass sie auch im Inductionsstrome galvanotactische Einstellung (mit dem Kopfe nach der Electrode mit vorwiegender Anodenwirkung hin) und Locomotion zeigen, während die anderen Thiere durch die rasch sich wiederholenden Reize in Krampf verfallen und während der Dauer der Reizung zur Ortsveränderung unfähig sind.

Neuerdings habe ich die Galvanotaxis der Cyclopiden auch mittelst des constanten Stromes nachweisen können. Es bedarf dazu eines hochgespannten Stromes (mindestens 10 bis 12 Plattenpaare).

Am schönsten zeigt sich die Galvanotaxis bei dem Isopoden Asellus aquaticus, der Wasserassel. Ein mässig starker Strom (6 Meidingerelemente als Batterie, Kupferplatten von 8 cm² wirksamer Oberfläche, in 9 cm Abstand von einander in Tübinger Leitungswasser eingetaucht, als Elektroden) veranlasst sämmtliche in dem Gefässe befindliche Asseln, sich plötzlich gegen die Anode hin zu wenden und in lebhaften, seltsam hastigen Bewegungen auf diese zuzueilen. Wendung des Stromes lässt mit einem Schlage die ganze Gesellschaft umkehren. Bei wenigen Thieren lässt sich Galvanotaxis so leicht und charakteristisch zeigen wie bei Asellus.

Einen wesentlichen Unterschied zwischen dem Verhalten dieser Thiere und der galvanotactischen Wirbelthiere haben wir hier sogleich zu bemerken. Die letzteren bleiben, wenn sie sich galvanotactisch im absteigenden Strome eingestellt haben, fast stets ruhig in dieser Lage, und Locomotionen gegen die Anode hin, wie sie Hermann bei den Lachsembryonen bemerkte, sind, wie dieser Autor selbst schon aussprach, nicht darauf zurückzuführen, dass etwa der galvanische Strom die Thiere veranlasste, die eine Elektrode zu fliehen, die andere aufzusuchen. Der Strom bedingt nur die Einstellung, und kommt dann spontan oder durch irgend einen accidentellen Reiz eine Ortsbewegung zu Stande, so muss diese natürlich auf die Anode hin gerichtet sein. Anders bei den Krebsen. Schon Blasius und Schweizer fanden, dass der Flusskrebs, auch wenn er während des Moments des Stromschlusses festgehalten und erst nachträglich vorsichtig losgelassen wird, auch in diesem Falle zur Anode hin sich bewegt, allerdings rückwärts. Der aufsteigende Strom erzeugt demnach beim Flusskrebs Rückwärtsbewegung. Im absteigenden Strome fanden die genannten Autoren beim Flusskrebs entweder überhaupt keine Locomotion, oder eine langsame Bewegung vorwärts, also ebenfalls auf die Anode zu.

Bei Asellus sind die Verhältnisse durchsichtiger. Es lässt sich bei ihm gleichfalls leicht zeigen, dass nicht der Stromschluss, sondern das Bestehen des Stromes es ist, welches ihn zur Bewegung gegen die Anode reizt. Bei ihm aber ist es der absteigende Strom, welcher diese Wirkung hat. Er kann daher, wenn er den Kopf gegen die Anode gedreht hat, nicht ruhig bleiben, sondern läuft aufgeregt auf diese zu. Dies geschieht auch bei ganz allmählichem Anlassen des absteigenden Stromes. Damit ist eigentlich schon bewiesen, dass der Strom einen Trieb zum

Laufen nach der Anode erzeugt und dass diese Bewegung nicht etwa einen Fluchtversuch in einer durch die galvanotactische Einstellung bestimmten Richtung darstellt. Noch eclatanter wird dies aber durch die folgenden Versuche.

Um festzustellen, ob die hauptsächlichsten Sinnesorgane bei der galvanotactischen Reaktion von Bedeutung seien, schnitt ich einigen Asseln erst die beiden langen (äusseren) Fühler ab und fand darnach die Reaktion nahezu unverändert. Dasselbe war der Fall, als ich auch die kurzen (inneren) Fühler abgeschnitten hatte, welche bekanntlich die Organe des chemischen Sinnes oder Geschmackssinnes, die sog. „blassen Kolben“ (Leydig) tragen. Ja auch als ich noch weiter ging und den vordersten Theil des Kopfsegmentes abschnitt, wobei ebenfalls zahlreiche Nervenendorgane verloren gehen, war die galvanotactische Reaction nicht aufgehoben. Hierdurch wurde ich veranlasst, zu prüfen, wie sich Thiere verhielten, denen der ganze Kopf mit sammt dem „Gehirn“ (besser den Schlundganglien) genommen war. Das Verhalten dieser kopflosen Assel nun ist von hohem Interesse, da es seinerseits ein Licht auf die Reactionen der normalen Thiere wirft.

Der trennende Schnitt wurde meist durch dass dritte Segment des Körpers geführt. Danach wurde einige Minuten gewartet und dann die Asseln, sofern sie auf den Rücken gefallen waren, aufgerichtet und auf die Beine gestellt, was bei mehreren, nicht aber bei allen, sehr gut gelang. Die kopflosen Thiere verhielten sich, vereinzelte Zuckungen mit den Beinen abgerechnet, ruhig. Sie wurden nun in der Längsrichtung des Galvanisirungsgefässes aufgestellt und dann ein Strom von der gleichen Stärke, wie er zur Erzeugung der Galvanotaxis unverletzter Thiere nöthig war, eingeleitet. Das Verhalten war nun ein sehr verschiedenes, je nachdem dieser Strom aufsteigend oder absteigend verlief.

Der aufsteigende Strom erzeugte Unruhe, krampfartige uncoordinirte Bewegungen der Beine, verbunden mit Verkrümmung des Leibes, welcher auf der Bauchseite concav eingebogen wurde. Dabei kam es wohl vor, dass ein Thier umfiel und nun, wie auch etwaige andere, die schon zu Beginn des Versuches auf dem Rücken lagen, sich weiter wand und krümmte. Bei denjenigen Exemplaren aber, welche stehen bleiben konnten, kam es gar nicht selten vor, dass sie sich, allerdings weit ungeschickter und lang-

samer, als unverletzte Thiere, um die vertikale Achse drehten, bis sie in den absteigenden Strom sich eingestellt hatten. Jetzt thaten sie das, was stets geschah, wenn der Strom schon von vornherein absteigend eingeleitet war, sie begannen in raschem Tempo auf die Anode zuzulaufen. Der absteigende galvanische Strom erzeugt also bei dem kopflosen Asselrumpfe andauernde zwangsmässige Laufbewegungen. Auch an auf dem Rücken liegenden Asseln beobachtet man diese zwangsmässige Laufbewegungen der Beine. Die ganze Bewegung macht den Eindruck des Hastigen, Ueberstürzten und man gewinnt den Eindruck, dass mit dem Verluste des vordersten Körperendes zwar nicht das Centrum der Laufbewegungen, aber doch ein höheres zur Locomotion in Beziehung stehendes Centrum verloren gegangen ist. Die Coordination der Bewegungen des kopflosen Rumpfes hat Noth gelitten, wenn sie auch keineswegs ganz aufgehoben ist. Ausserdem vermag der Rumpf einem Hindernisse nicht auszuweichen; wenn er umfällt, arbeiten die Beine ruhig weiter, obgleich sie das Thier nicht vorwärts bringen.

Die Reaktion auf den aufsteigenden Strom ist minder auffallend, sie schliesst sich eng an das bei Wirbelthieren beobachtete an, sie stellt eine an's Krampfhafte grenzende Erregung des gesammten Centralnervensystems dar. Auffallend aber ist, dass ein solches Thier umzukehren und sich in den absteigenden Strom einzustellen vermag. Vielleicht haben wir hierin nur eine zufällig in Folge der krampfhaften Beinbewegungen eintretende Uhrzeigerbewegung zu sehen, die in dem Augenblicke, wo die antidrome Einstellung erreicht ist, durch die Laufbewegungen unterbrochen wird; vielleicht auch existirt ein unter dem Einflusse des Stromes erwachender Trieb zur Umdrehung, wie er bei dem unverletzten Thiere sicher vorhanden ist. Ueber diese Frage habe ich infolge Mangels an Material Klarheit noch nicht gewinnen können, neige mich indessen eher der ersteren Anschauung zu, im Hinblick auf einen ähnlichen Befund bei Wasserinsekten.

Die beschriebenen Versuche habe ich noch stundenlang, ja einen halben Tag nach der Decapitation an einzelnen Exemplaren anstellen können.

Insecten.

Von Wasserinsecten habe ich vorzugsweise Wasserwanzen verwendet, die den Vortheil boten, dass sie noch bis in den Winter hinein in beliebiger Menge zu beschaffen waren. Ich experimentirte mit Notonecta glauca, N. lutea, Corixa striata und mehreren kleineren, etwa 7 mm langen anderen Arten der Gattung Corixa, deren Bestimmung bekanntlich sehr schwierig ist. Ich unterliess den Versuch dieser näheren Bestimmung, weil sie in ihrem galvanotactischen Verhalten keinen Unterschied zeigten.

Die beiden Arten von Notonecta zeigen keine ausgesprochene Galvanotaxis, um so deutlicher die Corixa-Arten. Schliesst man einen Strom von 10 bis 14 Elementen in der Weise, dass eine Anzahl dieser Ruderwanzen von den parallelen Stromfäden getroffen werden, so stürzt alsbald die ganze Schaar in wildem Durcheinander und mit lautem klapperndem Geräusch zur Anode hin. Das Geräusch rührt von dem Anschlagen der harten Köpfe an die Kupferplatte und die Glaswand her. Nicht selten wird die Erregung so stark, dass einzelne Thiere über das Wasser empor springen, ja sich aus dem Behälter herausschnellen.

Die Galvanotaxis der Corixa ist also eine positive. Die kleineren Arten reagiren fast noch stärker als unsere grosse einheimische Art, Corixa striata. Notonecta wird durch den Strom ebenfalls heftig erregt, stürmt aber bald zur Anode, bald zur Kathode, wenn auch letztere vielleicht etwas bevorzugt wird. Zur Beurtheilung dieses Unterschiedes zwischen so nahe verwandten Gattungen, wie Corixa und Notonecta ist es vielleicht von Wichtigkeit, dass die fein behaarte Chitindecke der Notonecta auf dem ganzen Rumpfe dieses Thieres eine dünne Luftschicht festhält, welche der Wanze das bekannte silberglänzende Aussehen giebt, und den Eintritt des Stromes in den Körper jedenfalls beträchtlich behindern muss. Auf der glatten Chitindecke von Corixa fehlt die Luftschicht und der Silberglanz.

Ich versuchte die Luftschicht der Notonecta durch momentanes Eintauchen in Spiritus zu entfernen. Dies gelingt auch leicht, und ich glaube an solchen Thieren eine stärkere Bevorzugung der Anode bemerkt zu haben. Leider gehen aber so behandelte Thiere rasch zu Grunde, und zwar werden sie merkwürdiger Weise rascher gelähmt, als wenn man sie dauernd im Spiritus lässt.

Corixa reagirt in destillirtem Wasser, ebenso wie auch die Regenwürmer, stärker galvanotactisch, als in Quellwasser, trotz der geringeren Leitungsfähigkeit des ersteren oder, wenn man will, eben wegen dieser Eigenschaft. Die absolute Stromstärke ist bei Verwendung des destillirten Wassers zwar geringer, der Stromtheil aber, welcher durch den gut leitenden Thierkörper geht, ist in diesem Medium relativ grösser, und, wie der Erfolg zeigt, auch absolut grösser.

In erwärmtem Wasser (28° bis 35° C.) ist die galvanotactische Reaktion ausserordentlich abgeschwächt. Dasselbe hatten Hermann und Matthias bei Froschlarven gefunden. Für die Ursache halte ich, wie die genannten Autoren, das bessere Leitungsvermögen des warmen Wassers, hinter welchem der langsam sich erwärmende Thierkörper relativ zurückbleibt.

In diesem Zusammenhange sei auch bemerkt, dass bei Untersuchungen im Seewasser eine weit höhere Stromdichte erforderlich ist, als bei Süsswasser, ein Umstand, der der sonst sehr aussichtsreichen Untersuchung von Seethieren Schwierigkeiten entgegensetzt.

Auch bei Corixa habe ich Versuche an decapitirten Thieren gemacht. Die Enthauptung wird, ohne dass das Leben erlischt, über 30 Stunden ertragen, namentlich, wenn die Verletzungsstelle durch Cauterisiren mit einem glühenden Draht vor der allzuraschen Einwirkung des Wassers geschützt wird. Den gleichen Erfolg, wie die Decapitation, hat die Zerstörung des Gehirns durch eine glühende Nadel.

Als ich zum ersten Male mit einer eine Stunde zuvor decapitirten Corixa experimentirte, war ich sehr überrascht, das vorher positiv galvanotactische Thier jetzt in ein scheinbar negativ galvanotactisches umgewandelt zu sehen. Ein absteigender Strom hatte einige kräftige Bewegungen der Schwimmbeine nach vorne zur Folge, wodurch also das Thier rückwärts, zur Kathode getrieben wurde. Ein aufsteigender Strom hatte zur Folge, dass die beiden hinteren Beinpaare ziemlich gerade nach hinten ausgestreckt wurden und in dieser Stellung andauernd leichte oscillirende Bewegungen von geringer Amplitude ausführten. In Folge dieser Bewegungen schwamm der kopflose Rumpf mit ziemlicher Geschwindigkeit zur Kathode hin.

Ich muss sogleich hinzufügen, dass ich bei Untersuchung an-

derer Individuen nie wieder das gleiche Resultat erhalten habe, wie bei diesem ersten. Es kann thatsächlich von einer Umkehrung der Galvanotaxis durch die Enthauptung nicht die Rede sein. Was ich in allen Fällen beobachtete, das sind die klonischen Krämpfe der Extremitäten, welche dabei in Streckstellung gehalten wurden. Eine Locomotion in Folge dieser Bewegungen, wie in jenem ersten Falle, war später nur angedeutet. Die zitternden Bewegungen der Beine sind zuweilen von einzelnen stärkeren unterbrochen. In Fällen, wo diese letzteren deutlich ausgeprägt waren, bemerkte ich, dass, wenn das Thier sich an der einen Seitenwand des Behälters befand, es sich unter dem Einflusse der aufsteigenden galvanischen Durchströmung umzudrehen und in den absteigenden Strom einzustellen vermochte. Schwamm der Rumpf mitten auf dem Wasser, ohne Contact mit einem festen Gegenstande, so kam jene Drehung nie zustande. Ich möchte dieselbe übrigens, wie die oben beschriebene Umdrehung der Wasserasseln nicht für einen zweckbewussten, beabsichtigten Akt des gehirnlosen Thieres halten, sondern für eine zufällig aus der Art der Bewegung der Beine resultirende Drehung.

Die Wirkung des absteigenden Stromes fand ich späterhin übereinstimmend, aber abweichend von der Wirkung bei dem beschriebenen ersten Versuche, folgendermassen: Die Schliessung pflegt eine geringe Zuckung der Beine zu erzeugen, dann herrscht eine bis zwei Sekunden Ruhe, auf welche sodann eine oder mehrere kräftige Schwimmbewegungen folgen, welche ganz den Charakter normaler wohl coordinirter Bewegungen machen. Nach diesem folgt andauernde vollkommene Ruhe des Thieres.

Eine Discussion dieser Erscheinungen verschiebe ich, bis grösseres Thatsachenmaterial vorliegt. Bemerkt sei hier nur noch, dass man die locomotorischen Bewegungen der Wasserwanzen, spontane wie galvanotactische, durch einen Stich mit einem feinen Messerchen in die Unterseite des Thorax (zwischen erstem und zweitem Beinpaar) vollständig aufheben kann, dass somit hier das Locomotionscentrum seinen Sitz zu haben scheint. Dass dieses nicht im Kopfganglion seinen Sitz hat, geht aus der geringen Wirkung der Enthauptung auf die Bewegungen hervor. Bei den Isopoden (Asellus) sind mehrere locomotorische Centren vorhanden, wahrscheinlich so viele, wie Körpersegmente. Für die Beurtheilung der beschriebenen Erscheinungen dürfte dies von Werth sein.

Ausser an den genannten Insecten habe ich noch an Larven von Libellula depressa experimentirt. Diese stumpfsinnigen, gegen die stärksten chemischen Reize fast unempfindlichen Thiere zeigen keine Spur von Galvanotaxis. Ich habe Ströme von den schwächsten bis zu den stärksten (30 Chromsäureelemente) angewandt, ohne etwas anderes als ein leichtes Zucken des Hintertheiles und der rudimentären Fühler zu erzielen. Starke Ströme lähmen, gleichviel welche Richtung sie haben.

Bezüglich der Wasserkäfer kann ich meine Versuche, wegen Mangels an Material, noch nicht als abgeschlossen betrachten. Ich habe nur mit einigen Exemplaren von Dytiscus marginalis experimentiren können. Von einer „ausgesprochenen Vorliebe für die Anode", wie Blasius und Schweizer sich ausdrücken, möchte ich bei diesen Thieren nicht reden. Sie stürzen vielmehr in Angriffsstellung, mit weit geöffneten Kiefern und vorgestreckten Vorderbeinen wild auf die Anode zu. Wie bei den anderen genannten Arthropoden scheint auch hier der absteigende Strom Bewegungstrieb, der aufsteigende Krampf zu erzeugen. Die gewöhnliche Einstellung ist antidrom (positiv galvanotactisch).

Schlussbemerkungen.

In Kürze fasse ich die Resultate der vorstehenden Mittheilungen zusammen:

Galvanotaxis ist die Richtung eines frei beweglichen Organismus durch den galvanischen Strom.

Die Galvanotaxis ist eine weitverbreitete Erscheinung, sie findet sich bei niederen wie höheren Thieren, ja selbst schon bei einzelligen Wesen. Ihr Vorkommen ist jedoch kein allgemeines, es giebt vielmehr Thiere, bei welchen sie gänzlich fehlt, oder doch nur in den allerniedrigsten Anfängen nachweisbar ist.

Die galvanotactischen Erscheinungen bei den verschiedenen Thiergruppen sind unter sich nicht gleichwerthig, sie beruhen nicht überall auf den gleichen allgemeinen Gesetzen.

Am durchsichtigsten sind bis jetzt die galvanotactischen Reactionen der niederen Wirbelthiere einerseits, der Mollusken und Protisten andererseits. Die Würmer verhalten sich in mancher Hinsicht ähnlich wie die Thiere der letzteren Gruppe.

Die Galvanotaxis der niederen Wirbelthiere (vornehmlich der Fisch- und Amphibienlarven) ist in der Hauptsache bestimmt durch die Wirkung des constanten Stromes auf das Centralnervensystem, welches durch einen aufsteigenden Strom erregt, durch den absteigenden beruhigt, schliesslich vorübergehend gelähmt wird (Hermann).

Im aufsteigenden Strome kommen diese Thiere daher nicht zur Ruhe, dies geschieht vielmehr erst, wenn sie bei ihren durch den Strom angeregten Bewegungen sich antidrom, d. h. in den absteigenden Strom, den Kopf gegen die Anode gekehrt, eingestellt haben.

Die Galvanotaxis der Protisten und Mollusken beruht auf polarer, einseitiger Reizung des Zellleibes bei Protisten, des peripheren Nervensystems bei Mollusken. Diejenige Seite, auf welcher der galvanische Strom Reizerscheinungen hervorruft, ist in der Mehrzahl der Fälle (immer bei Mollusken) die Anodenseite. In Folge dessen wenden sich die Thiere von dieser Elektrode ab und der Kathode zu, stellen sich also in diejenige Lage ein, in welcher die Erregung ihrer reizbarsten Theile die möglichst geringe ist. Zugleich pflegen die Thiere in dieser Richtung sich vorwärts zu bewegen.

Im Gegensatze zu den Wirbelthieren, welche die galvanotactische Einstellung gewissermassen „per exclusionem" (Ewald) finden, übt der Strom auf die Mollusken und Protisten eine richtende Wirkung aus.

Aehnliche Wirkungen des Stromes sind auch bei den Wirbelthieren angedeutet, wenn man schwache Ströme einwirken lässt (Ewald). Bei Verwendung stärkerer Ströme aber tritt die Wirkung auf's Centralnervensystem in den Vordergrund und überwiegt über die erstgenannte Wirkung. Dem entsprechend entsteht die definitive galvanotactische Einstellung der Wirbelthiere durchweg erst bei weit höheren Stromstärken, als diejenige der Mollusken, Würmer und Protisten.

Die Galvanotaxis der Würmer (nur oligochäte Anneliden sind untersucht) folgt im allgemeinen dem gleichen Gesetze, wie diejenige der Mollusken, ist aber weniger ausgeprägt, entsprechend der Thatsache, dass die quantitative Verschiedenheit der Reizwirkung von Anode und Kathode bei ihnen weniger entwickelt ist. Auch kommen bei den Würmern Andeutungen von Beein-

flussung des centralen Nervensystems vor, welche bei diesen Thieren, wegen ihres langgestreckten Centralnervensystems leichter zur Geltung kommen kann, als bei den Mollusken mit ihrem aus zerstreuten Ganglienhaufen gebildeten Centralnervensystem.

Die Galvanotaxis der Arthropoden ist weniger genau bekannt und bietet der Erklärung Schwierigkeiten. Allgemein ist auch bei ihnen die beunruhigende, unter Umständen bis zur Krampferregung sich steigernde Wirkung des aufsteigenden Stromes. Der absteigende Strom scheint zuweilen beruhigend zu wirken, in anderen Fällen erzeugt er eine deutliche Erregung des locomotorischen Centrums, er bewirkt Lauf-, bezw. Schwimmbewegungen. Durch den Wiederstreit dieser beiden letztgenannten Wirkungen des absteigenden Stromes, verbunden mit der sicher nicht fehlenden Wirkung auf die sensiblen Nerven, ist die unvollkommene Uebereinstimmung in den bei verschiedenen Arthropodenarten gewonnenen Resultaten wohl zu erklären.

Würmer und Arthropoden zeigen Galvanotaxis zuweilen auch noch nach der Decapitation in ausgeprägter Weise.

Die Galvanotaxis der Arthropoden ist, wie diejenige der Wirbelthiere eine positive, diejenige der Mollusken und Würmer eine negative.

Bei manchen Thieren zeigt sich Galvanotaxis auch bei Einwirkung des faradischen Stromes, wenn nicht zur Stromunterbrechung die Helmholtz'sche Modification des Wagner'schen Hammers verwendet wird. Wirksam ist dabei der Oeffnungsschlag.

Die Frage, wodurch es bedingt ist, dass bei manchen Thieren die polare Reizwirkung der Anode über die der Kathode überwiegt, bei manchen sich das gegenseitige Verhältniss bemerklich macht, worauf ich früher hingewiesen habe, habe ich in vorstehender Abhandlung mit Absicht bei Seite gelassen, weil die ausserordentlich complicirten hierbei in Frage kommenden Verhältnisse[1]) Erörterungen über diesen Punkt vorläufig ziemlich aussichtslos erscheinen lassen.

---

1) Ich erinnere nur an die schwer verständliche Thatsache, dass die elektrischen Fische für ihren eigenen Schlag und für künstliche elektrische Durchströmung in gewissen Richtungen immun sind, ferner an die auffallende

Beobachtung D. Leicher's (Ueber den Einfluss des Durchströmungswinkels auf die electrische Reizung der Muskelfaser. Dissertation. Halle 1887), dass Muskeln, an deren Enden künstliche Querschnitte (durch Cauterisation) angelegt sind, gegen Ströme, welche in sie von diesen Stellen aus eintreten, nicht reagiren. Aehnlichen, vorläufig nicht zu übersehenden Complicationen ist man bei den Versuchen mit Durchströmung ganzer Thiere stets ausgesetzt.

Berichtigung

von Dr. **Wilhelm Cohnstein,** Berlin.

In meiner letzten Publication (dieses Archiv Bd. 59, pg. 515) ist aus Versehen ein sinnentstellender Rechenfehler stehen geblieben.

Es heisst dort in der dritten Zahlenreihe der Lymphwerthe:

Zeit	NaCl gr	NaCl in 100 gr Lymphe	NaCl in 100 ccm Lymphe
12h5—10	0,0291456	0,49	0,52

Statt dessen soll es heissen:

12h5—10	0,043086	0,72	0,76.

Auch die Curve I ist entprechend zu ändern.

Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn.





ARCHIV

FÜR DIE GESAMMTE

PHYSIOLOGIE

DES MENSCHEN UND DER THIERE.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. E. F. W. PFLÜGER,

ORD. ÖFFENTL. PROFESSOR DER PHYSIOLOGIE AN DER UNIVERSITÄT

UND DIRECTOR DES PHYSIOLOGISCHEN INSTITUTES ZU BONN.

NEUNUNDFÜNFZIGSTER BAND.

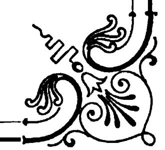
ERSTES UND ZWEITES HEFT.

MIT 6 HOLZSCHNITTEN.

BONN, 1894.

VERLAG VON EMIL STRAUSS.





Ausgegeben am 16. November.

Inhalt.

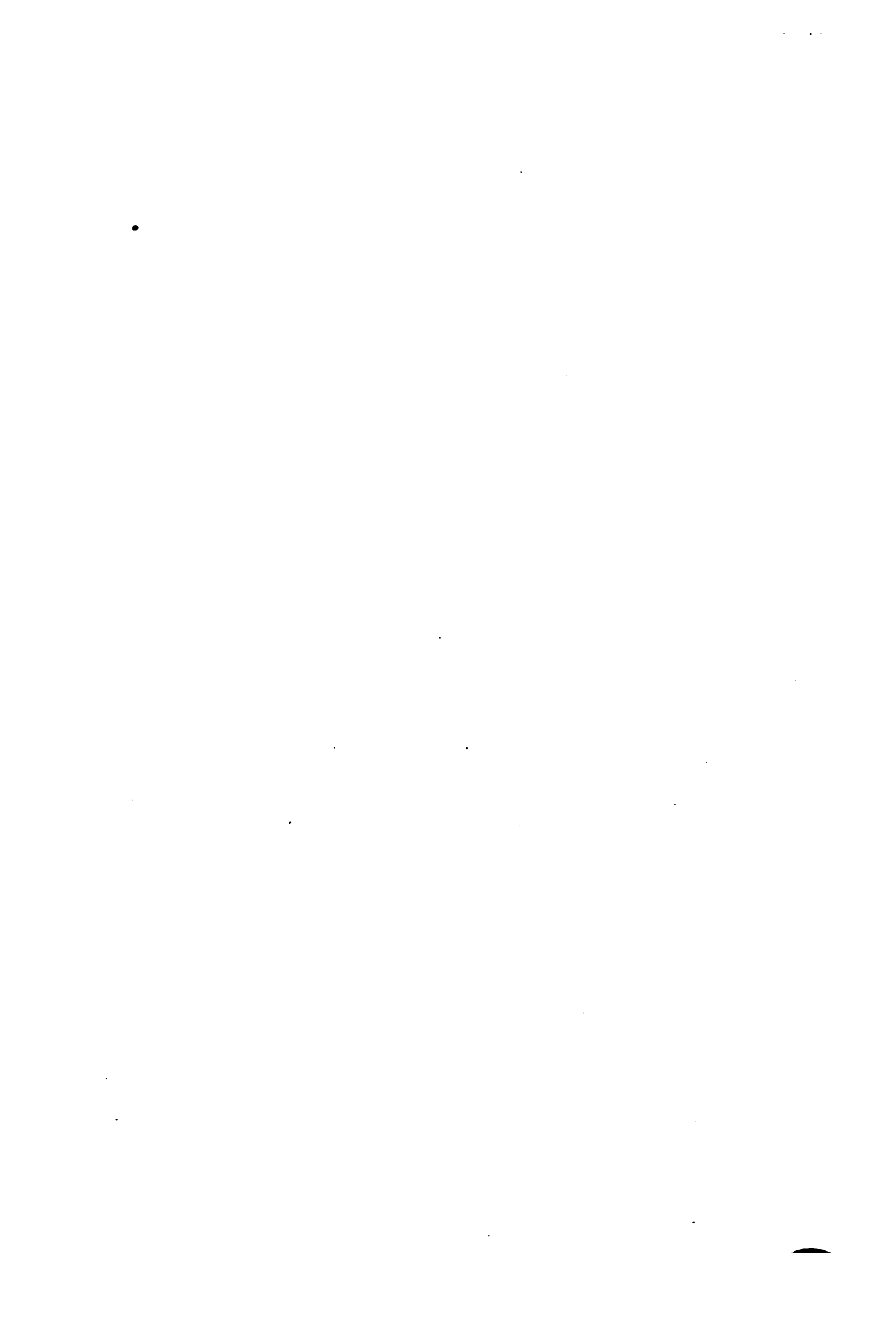
Durch ein Versehen wurde die nachstehende im 9./10. Hefte des 58. Bandes enthaltene Arbeit:

sowohl auf der betr. Umschlagseite sowie im Register des Bandes nicht mit aufgeführt.

Die Herren Mitarbeiter

erhalten pro Druckbogen 30 M. Honorar

und 40 Sonderabzüge gratis.



Universitäts-Buchdruckerei von Carl Georgi in Bonn.

